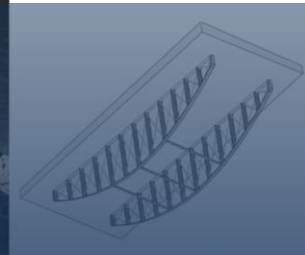
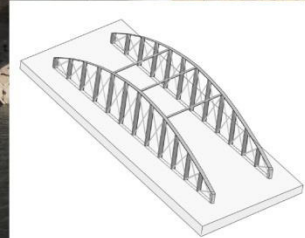


MODELADO EN 3D DEL PUENTE NUEVO DE MURCIA

PROYECTO FINAL DE CARRERA



EMILIO GIL ESTADE

Escuela de Ingeniería de Caminos y Minas.

Director: Manuel Torres Picazo

Área de Ing. Topográfica y Fotogrametría

Universidad Politécnica de Cartagena



ÍNDICE

ÍNDICE

CAPITULO I: Contexto histórico.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1.1 Hitos urbanísticos en los primeros años del siglo XX (1901-1930) en Murcia	3
1.2 EL PUENTE NUEVO	5
1.2.1 Principales características y diseño del puente	7
1.2.2 Cierre al tráfico y restauración.....	8
CAPITULO 2: La fotogrametría.	19
2.1 INTRODUCCIÓN	20
2.2 LA FOTOGRAMETRÍA	20
2.2.1 Algunas definiciones.....	20
2.3 INICIOS E HISTORIA DE LA FOTOGRAMETRÍA.....	21
2.3.1 Hitos importantes en la historia de la fotogrametría	24
2.4 LA FOTOGRAMETRIA EN ESPAÑA.....	30
2.5 ETAPAS DE LA FOTOGRAMETRÍA	31
2.5.1 La fotogrametría analógica	33
2.5.2 La fotogrametría analítica	34
2.5.3 La fotogrametría digital.....	35
2.6 CLASIFICACION DE LA FOTOGRAMETRIA	36
2.6.1 Fotogrametría Terrestre.....	36
2.6.2 Fotogrametría Aérea	36
2.6.3 Fotogrametría analógica	37
2.6.4 Fotogrametría analítica	37

2.6.5 Fotogrametría digital.....	37
2.7 APLICACIONES DE LA FOTOGRAMETRIA	38
2.7.1 Las ventajas más relevantes que la disciplina propone	39
2.7.2 Entre las desventajas consideramos	39
CAPITULO 3: Tipos de imágenes y Geometría de la toma fotográfica.....	40
3.1 TIPOS DE IMÁGENES.....	41
3.1.1 Cámara fotográfica.....	41
3.1.2 Digital o Analógico.....	44
3.2 GEOMETRÍA DE LA TOMA FOTOGRÁFICA	49
CAPITULO 4: Orientación fotogramétrica	52
4. ORIENTACIÓN	53
4.1 ORIENTACIÓN INTERNA	53
4.2 CONCEPTOS DE CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA	54
4.3 ORIENTACIÓN RELATIVA	56
4.4 ORIENTACIÓN ABSOLUTA	57
4.5 APLICACIÓN EN PHOTOMODELER.....	58
4.6 LA PARALAJE.....	59
4.7 GEOMTRÍA EIPOLAR	60
4.8 ERROR MEDIO CUADRATICO	61
CAPITULO 5: Programas y material utilizado.....	64
5.1 PHOTOMODELER.....	65
5.2 AUTOCAD	67
5.3 CAMARA. NIKON COOLPIX P6000	68
5.4 ESTACIÓN TOTAL. LEICA TPS 407	71

CAPITULO 6: Trabajo desarrollado	74
6.1 RESUMEN	75
6.2 CALIBRACIÓN EN PHOTODELER. ORIENTACION INTERNA	76
6.3 TOMAS FOTOGRÁFICAS.....	80
6.4 VISIONADO DE PUNTOS. ESTACIÓN TOTAL.....	82
6.5 PROCESADO DE LAS FOTOGRAFÍAS. PHOTODELER.....	85
6.6 VOLCADO DE PUNTOS.....	92
6.7 PROCESADO DE PUNTOS EN AUTOCAD	95
CAPITULO 7: Resultado final y Conclusión	99
7.1 RESULTADO FINAL.....	100
7.2 CONCLUSIÓN.....	101
BIBLIOGRAFÍA	102

CAPITULO I: Contexto histórico.

1.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los rasgos que definen a la sociedad moderna es el crecimiento de las ciudades. Normalmente, a costa de sus superficies rurales. La revolución industrial aportó el empleo de nuevas técnicas y materiales de construcción (hierro, cristal, hormigón...), que dieron una nueva imagen a las ciudades, muchas de ellas ancladas en una traza medieval.

Los nuevos planos urbanos del último tercio del siglo XIX, responden a las nuevas necesidades sociales, desde las comunicaciones hasta aspectos sanitarios. En el año 1900, Murcia superaba los 100 mil habitantes, siendo una de las ciudades más pobladas de España; solo por detrás de Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla y Málaga.

En la ciudad de Murcia los primeros pasos para una reforma urbana, los dio Juan de La Cierva en su etapa de alcalde de la ciudad (1885). Para ello encargó al ingeniero y arquitecto Pedro García Faria, el primer plano de la ciudad y un proyecto general de alcantarillado. Estos esmerados estudios, sirvieron de base a todos los proyectos posteriores.



Ilustración 1. Juan de la Cierva

Entre otras cosas, se arreglaron las principales calles de la ciudad, la Trapería y Platería (convertidas en 1903 en calles peatonales), o las Plazas de Santa Catalina o San Bartolomé. En la parte sur de la ciudad, el barrio industrial de San Benito (o Barrio del Carmen), estaba prácticamente urbanizado.

En este Barrio del Carmen, se construyó el puente de hierro (o Puente Nuevo) sobre el Segura.

1.1.1 Hitos urbanísticos en los primeros años del siglo XX (1901-1930) en Murcia.

En el año 1902 fue inaugurado el Puente Nuevo o de Hierro, que comunica el barrio de San Juan con el del Carmen.

En esta época también se concluyen las obras del Casino de Murcia; centro de reunión de la burguesía de la capital, con la finalización de la fachada de estilo ecléctico de la calle Trapería.



Ilustración 2. Puente nuevo (interior)



Ilustración 3. Casino de Murcia.

En el año 1908 se inauguraron los jardines fluviales de Ruiz Hidalgo, situados entre el cauce del río y el antiguo muro de contención del margen izquierdo, cuya entrada se encontraba enfrente del Martillo del Palacio Episcopal. Fueron ideados por el ingeniero forestal Ricardo Codornú y Stárico.

A finales de 1914 se produjo la fundación oficial de la actual Universidad de Murcia, hito largamente esperado por la sociedad murciana del momento, inaugurándose su primera sede en el Barrio del Carmen.



Ilustración 4. Universidad Murcia (El Carmen)

Durante los años 20 fue elaborado el primer proyecto de ampliación urbana de Murcia. Conocido como Plan Cort por su autor César Cort, no pudo llevarse a cabo por falta de financiación.



Ilustración 5. Plano del Plan Cort

1.2 EL PUENTE NUEVO

El Puente Nuevo o Puente de Hierro es un puente metálico de vigas parabólicas sobre el río Segura, finalizado en 1903, está situado en la ciudad de Murcia (Región de Murcia, España).

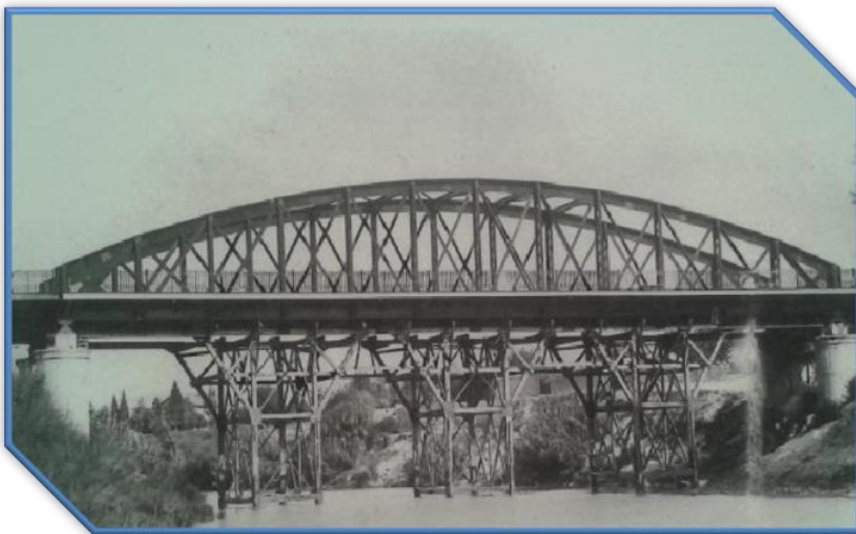


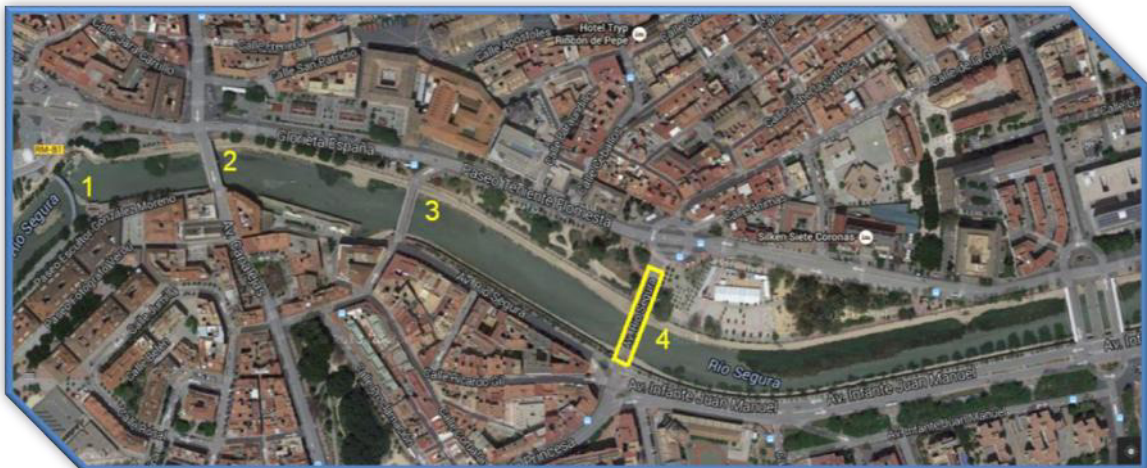
Ilustración 6. Puente Nuevo

Al ser el segundo puente urbano construido en la ciudad de Murcia sobre el río, fue llamado Puente Nuevo para diferenciarlo del Puente Viejo, a pesar de que hoy día es el segundo más antiguo de la ciudad, y el cuarto en el recorrido de la ruta del Segura a su paso por Murcia, ya que se encuentra entre la Pasarela del Martillo y el Puente del Hospital.



Ilustración 7. Puente de los peligros (Puente Viejo)

Localización del puente en el río.



El incremento del tráfico de carretas, galeras y carruajes de lujo y la necesidad de conectar ambas riberas del río llevó a proyectar este puente en 1894 que se terminó de construir en 1903.

Este puente se construyó en hierro siguiendo la moda impuesta por la torre Eiffel, levantada en París en 1889 para la Exposición Universal.



Ilustración 8. Puente Nuevo vs Torre Eiffel

1.2.1 PRINCIPALES CARACTERISTICAS Y DISEÑO DEL PUENTE.

Fue proyectado en 1894 por el ingeniero de caminos, canales y puertos José María Ortiz y fue construido por la empresa Materiales para Ferrocarriles y Construcciones de Barcelona, empezando su construcción en 1897.

Las obras finalizan el 21 de febrero de 1903.



Ilustración 9. Placa empresa constructora

Se lleva a cabo con un presupuesto de 592.982,95 pesetas.

Entre las características técnicas del puente diremos que no tiene soldaduras siendo ensamblado mediante roblones remachados; el material empleado es hierro fundido.

Inicialmente, el puente se caracterizaba por un tramo metálico de vigas parabólicas de 46,80 metros con andenes exteriores, apoyado sobre pilas tubulares; y por ocho tramos de acceso también metálicos de 11,25 metros de luz apoyados sobre palizadas metálicas. Los tramos de acceso desaparecieron con la canalización del río Segura en los años 60, quedando únicamente a la vista el tramo con las vigas parabólicas.

1.2.2 CIERRE AL TRÁFICO Y RESTAURACION

En marzo del 2001, el puente fue cerrado al tráfico por motivos estructurales. El Ayuntamiento de Murcia decidió su restauración intentando conservar al máximo la estructura original, lo que supuso su transformación en puente

exclusivamente peatonal debido a que el puente original no fue diseñado para las cargas de tráfico que exige la normativa vigente (IAP-98).

El proyecto de restauración de junio de 2001 fue realizado por Javier Manterola. Después de una serie de trabajos preliminares que confirmaron la validez de las propuestas de restauración, las obras comenzaron el 26 de julio de 2002, reabriéndose el puente al público el 13 de mayo de 2003.

Otra de las obras más emblemáticas de Javier Manterola en la Región es la pasarela situada al comienzo del Paseo del Malecón.

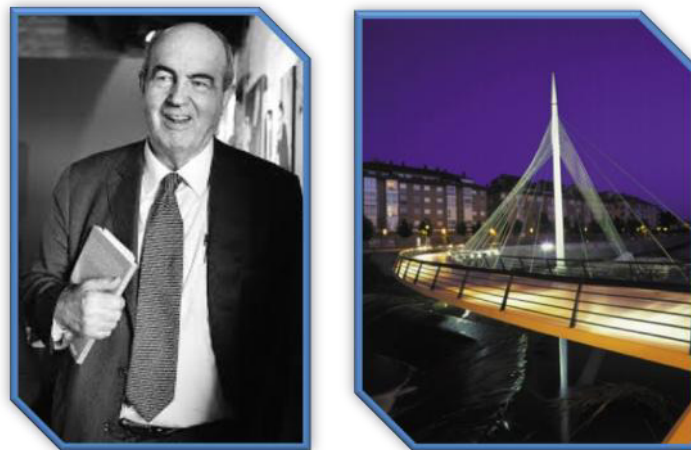


Ilustración 10. Javier Manterola y su pasarela en Murcia

Publicación sobre la restauración del Puente Nuevo.

Localidad: Murcia

Época: 1897-1902

Fecha: 2001

Nº expte.: 763/2001

Convenio de colaboración suscrito el 3 de diciembre de 2001 entre la Consejería de Turismo y Cultura y el Ayuntamiento de Murcia para la Restauración del Puente de Hierro de Murcia capital y acondicionamiento de su entorno.

Aportaciones (Año 2001):

Consejería de Turismo y Cultura: 5.000.000 pts

Ayuntamiento de Murcia: 20.000.000 pts

Aportaciones (Año 2002):

Consejería de Turismo y Cultura: 316.570,99 euros

Ayuntamiento de Murcia: 901.518,16 euros

Autores del proyecto y Dirección de Obra: Javier Manterola Armisén, Javier Fernández Revenga y Javier Muñoz-Rojas Fernández

Empresa adjudicataria: FERROVIAL-AGROMAN S.A.

CATALOGADO CON GRADO DE PROTECCIÓN 1 EN EL PLAN ESPECIAL DE PROTECCIÓN DEL CONJUNTO HISTÓRICO DE MURCIA.

powered

RESEÑA HISTÓRICA

La ciudad de Murcia a lo largo de su historia siempre fue deficitaria en puentes y durante más de seis siglos, hasta la construcción del Puente Nuevo o Puente de Hierro sólo dispuso de dos puentes: el puente de las Ovejas o de la Azud, cuya función era la de permitir el paso de los ganados trashumantes de la Mesta, y el Puente Mayor (antecedente del Puente Viejo), emplazado en la entrada principal de la ciudad. Según Salvador Navarro Lorente y Alfonso Robles Fernández, en un texto sobre el Puente de Hierro publicado en el catálogo de la exposición *"Murcia. Puentes al 2000"* organizada por la Concejalía de Cultura y Festejos (el cual vamos a seguir para esta reseña), esta situación respondía a condiciones económicas, técnicas e hidrológicas, ya que desde la Época Medieval la construcción de puentes en obra de cantería resultaba muy gravosa y la tecnología disponible hasta el siglo XVIII, no permitía garantizar la resistencia de los puentes frente a las inundaciones provocadas por el río Segura. Por lo tanto la solución pasó por habilitar varios pasos de barcas que permitían el tránsito de una orilla a la otra. Precisamente el Puente Nuevo o Puente de Hierro, fue construido en la antigua Plaza de las Barcas, a las que sustituyó.

La necesidad de dotar a la ciudad de este puente fue planteada por las autoridades locales unos años después de la terminación del Puente Viejo. Díaz Cassou en su *"Serie de los Obispos de Cartagena"* hace alusión a que el obispo Diego de Roxas y Contreras puso su primera piedra el 25 de agosto de 1758, llegándose incluso a construir sus estribos, pero los trabajos fueron interrumpidos por falta de recursos económicos y el proyecto no se retomaría hasta el último tercio del siglo XIX, cuando el incremento del volumen de tráfico hizo imprescindible su construcción.

Los puentes de hierro supusieron un gran avance en las comunicaciones terrestres y ferroviarias. La construcción del primer puente de hierro data del año 1779, sobre el río Severn en Inglaterra. En las últimas décadas del siglo XIX se impuso este tipo de estructuras metálicas, construyéndose varios tipos de puentes:

unos con vigas de celosía, muy frecuentes en el ferrocarril, y otros con grandes arcos metálicos, empleados en viaductos y puentes colgantes de tablero plano. El Puente Nuevo de Murcia, supone una mezcla de estas dos tipologías, y fue construido por la empresa Sociedad Material para Ferrocarriles y Construcciones de Barcelona. Gracias a su construcción quedó conectada la huerta con la ciudad.

Su estructura configurada a base de hierros entrecruzados con riostras y "cruces de San Andrés" atravesaba una gran explanada donde desde antaño se realizaba el mercado de ganados y existía un lavadero público. Todo este sector sería remodelado en el año 1908, convirtiéndose en el Parque de Ruiz Hidalgo. En los años sesenta una reforma urbanística de este sector dio lugar a la actual Ronda de Garay, la prolongación de los muros de encauzamiento del río, la clausura del parque y el soterramiento de los tramos laterales del puente. Roselló y Cano en el libro titulado, *"Evolución urbana de la ciudad de Murcia (831-1973)"*, nos indican que fue el Estado quien financió el Puente Nuevo con el fin de unir la carretera Murcia-Alicante con la de Granada. El proyecto del Puente se remonta al año 1893, siendo adjudicado dos años después. Las obras se empezaron el 27 de abril de 1897, para abrirse al tránsito el 23 de enero de 1902, según proyecto del ingeniero José María Ortiz. El impulsor del proyecto fue el ministro de Fomento López Puigcerver.



El puente de Hierro tiene un peso total de 550 Tn, una longitud inicial del tablero de 152 m (longitud actual: 54 m), anchura del tablero: 12 m (8 m de calzada y 4m de aceras), la altura del arco es de 7 m y la luz, 42 m. El material empleado es el hierro laminado, hierro fundido y la piedra. Se trata del único ejemplo de arquitectura de hierro con estructura roblonada -sin soldaduras- que hay en Murcia.

La descripción que se hace del Puente de Hierro en el Proyecto de Restauración (redactado por Javier Manterola Armisén, Javier Fernández Revenga y Javier Muñoz-Rojas Fernández), previo a la intervención de los años 2002-2003 es como sigue:

El ancho total del tablero es de 12,20 m y las aceras situadas en vuelos laterales son de 2 m, sobreelevados con respecto a la plataforma interior.

La estructura está formada, en el gran vano central de 48 m, por dos grandes vigas metálicas en arco y en los vanos laterales por cuatro vigas metálicas en celosía, situadas bajo el tablero.

En el vano principal de 48 m de luz, las dos vigas longitudinales en celosía, sobresalen sobre el tablero inferior. Este está constituido por una zona central, entre vigas, y dos vuelos laterales.

La estructura del tablero entre vigas principales, sirve para recoger las cargas de la plataforma, está formada por un entramado de vigas. Las principales (viguetas), 12 en total, son unas vigas colocadas transversalmente entre los nudos de las vigas principales. Sobre éstas se embrochalan tres elementos longitudinales (largueros intermedios). Hay dos largueros más, colocados encima de las viguetas, que tienen la misión adicional de limitar la zona con hormigón en masa que formaba el pavimento. Hay una tercera familia constituida por unos perfiles transversales intermedios entre viguetas (viguetillas), embrochados contra los largueros intermedios y colgados de los largueros extremos.

Sobre esta estructura reticulada, se apoyaron unas chapas metálicas de forma piramidal (de altura 5 cm), que cerraban la plataforma del puente. Encima se colocó una capa de hormigón en masa, que servía de base a los adoquines del pavimento.

INTERVENCIÓN

RESTAURACIÓN EFECTUADA EN EL PUENTE NUEVO (PUENTE DE HIERRO) SOBRE EL RÍO SEGURA EN LA CIUDAD DE MURCIA.

ANTECEDENTES

El Puente Nuevo o Puente de Hierro, fue proyectado por el ingeniero José María Ortiz en 1893, siendo adjudicada su construcción el 27 de Abril de 1897 e inaugurado el 23 de Enero de 1902. Desde el principio se concibió como puente de carretera, en cuyo uso se ha mantenido hasta que fue cerrado al tráfico rodado en el mes de marzo del año 2001, debido al grave riesgo de rotura que presentaba.

El puente se proyectó con varios vanos de acceso por cada margen, con luces próximas a 15 m y con un gran vano central de 48 m, que es el único que está actualmente a la vista. Los vanos cortos están enterrados desde que se remodeló el río, para su encauzamiento, en los años 60 y solo son visibles dos franjas de unos tres metros entre cada pila y los muros del encauzamiento.

Una vez clausurado el puente, el Excmo. Ayuntamiento de Murcia decide acometer su restauración, conservando al máximo la estructura original del puente, aunque eso suponga la limitación de dedicarlo únicamente al tráfico peatonal, ya que la estructura original no fue concebida para las cargas de tráfico que exige la normativa vigente (IAP-98).

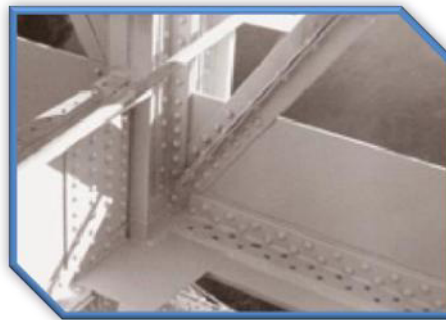
Los correspondientes proyectos de restauración se encargan a D. Javier Manterola Armisén y, una vez entregados en junio del año 2001, y aprobados, se acomete directamente la demolición de la losa de hormigón del tablero. Dicha demolición fue objeto de un informe en el mes de noviembre de 2001, en el cual se describen las acciones realizadas y las conclusiones obtenidas, de las que podemos destacar la adecuación de las previsiones del proyecto para llevar a cabo la restauración, ratificándose por tanto la validez del proyecto.

La obra de restauración propiamente dicha, se inicia el día 26 de julio del año 2002, con la firma del Acta de Replanteo y se termina y da al uso público el día 13 de mayo del año 2003.

SITUACIÓN DEL PUENTE ANTES DE LA RESTAURACIÓN

El deterioro detectado en el puente, y que dio origen a su cierre al tráfico, nace de dos circunstancias diferentes.

La primera es la que causa la ruina estructural del puente y se motiva por la falta de mantenimiento del



mismo. Los puentes metálicos deben ser repintados periódicamente para evitar la corrosión de las secciones resistentes y en el Puente Nuevo se apreciaban faltas graves de sección por corrosión.

La segunda es la corrosión de las chapas piramidales de soporte del pavimento. Esta corrosión se produce desde arriba, por la penetración del agua a través de las fisuras del hormigón en masa. Se detecta cuando las chapas ceden provocando la caída de los trozos de hormigón y de los adoquines del pavimento. Este hecho se produjo de forma que, en el vano central, hubo de sustituirse el pavimento inicial por otro de hormigón armado y en los vanos laterales se producían socavones en los que algún autobús metió una rueda.

La segunda causa se puede parchear, como así se hizo, pero la primera, mucho más peligrosa, precisaba de una intervención urgente para evitar un posible accidente de consecuencias catastróficas.

En el informe redactado por D. Javier Manterola Armisen, a petición del Excmo. Ayuntamiento de Murcia, para investigar la situación del puente, se desarrollan con mayor amplitud estas circunstancias.

ACTUACIONES EFECTUADAS

La primera providencia, a la vista de la situación del puente, fue decretar su cierre. A continuación se comenzó la redacción del proyecto de restauración del mismo.

Una vez aprobado el proyecto, se inició la demolición de la losa del tablero, por dos razones:

Una para aliviar el exceso de peso que sufría el puente debido a las sucesivas capas de aglomerado colocadas sobre el mismo.

Otra para estudiar con mayor detenimiento el estado de la estructura en aquellas zonas en que la losa de hormigón preexistente lo impedía.

Efectuada la demolición, se comprobó la adecuación de las previsiones del proyecto a las necesidades de la obra y por lo tanto se procedió a la contratación de las obras de restauración propiamente dichas.

Tras algunas vicisitudes en la contratación, esta recayó finalmente en la empresa Ferrovial-Agromán, la cual llevó a cabo las obras en las fechas citadas anteriormente.

LA RESTAURACIÓN

Las obras de restauración se han ceñido a las previsiones del proyecto, siguiendo las directrices generales de conservación máxima de los materiales originales de la estructura y de previsión del futuro mantenimiento de la misma. Asimismo ha sido un principio básico la recuperación estética de la obra.

Para conseguir esto, las operaciones realizadas han sido las siguientes:

Los elementos estructurales, que estaban deteriorados, se han sustituido, conservando las secciones originales. Los elementos vistos no estructurales, (barandillas, largueros de borde, etc.), se han restaurado a partir de los elementos originales.

El tablero del puente se ha construido de forma que apoya únicamente en las viguetas a través de unos nuevos elementos de refuerzo, que hacen que la estructura bajo el tablero permanezca oreada y accesible a las operaciones de inspección y mantenimiento.

La zona comprendida entre el andén central y los voladizos laterales, es decir la zona de influencia de los arcos, se ha cubierto con un enrejado tipo "tramex", de forma que el cordón inferior de los arcos, que era la zona mas deteriorada, sea visible y accesible para su control.

Los aparatos de apoyo metálicos originales se han mantenido a efectos puramente estéticos. La función de apoyo elástico se confía a unas placas de neopreno zunchado, que garantizan la libertad de movimientos del puente frente a las acciones del tráfico peatonal, la dilatación térmica y los sismos.

El pavimento se ha realizado con adoquines de granito en dos colores, que realzan la composición estructural del puente. La junta de dilatación utiliza un perfil metálico "anti-tacones" para evitar accidentes.

Las pinturas, de la estructura y de la barandilla, se han conjugado para mantener el efecto estético del puente primitivo. La iluminación ha tratado de potenciar la fuerza expresiva de la estructura, cumpliendo las labores funcional y estética que se pretendían.

A continuación se describen pormenorizadamente cada uno de estos trabajos.

EL CORDÓN INFERIOR

El cordón inferior del arco central, era la parte más deteriorada de la estructura y la principal causa de la situación de peligro de la misma. Su composición en forma de láminas delgadas roblonadas, y su posición horizontal (con retención de agua), juntamente con lo inaccesible del mismo, facilitaron su corrosión.

Para sustituirlo se cortaron los roblones de sujeción y se retiró, por secciones, la cabeza inferior, sujetándola con cadenas para evitar su caída.

Una vez retirada la cabeza inferior, se comprobó el estado de los angulares de unión entre alma y cabeza. Dado su buen estado, se decidió conservarlos, por lo cual se limpiaron, chorrearon y protegieron con pintura antioxidante, antes de proceder a colocar la nueva cabeza inferior, formada por una chapa única del mismo grosor que el conjunto de las chapas iniciales.

Confirmada la soldabilidad de estos angulares, se autorizó este procedimiento para unir la nueva cabeza inferior a los antiguos perfiles. La operación terminó con la unión de las distintas secciones de la cabeza inferior entre sí, mediante soldadura de techo.

Esta operación se realizó a lo largo de todo el puente excepto en la zona de los apoyos, que precisa un levantamiento del puente para retirar y sustituir la cabeza inferior en mal estado y que está aprisionada entre el puente y sus apoyos.

COVER

LOS NUDOS INFERIORES

Al igual que sucedía con la cabeza inferior, y por las mismas razones, los nudos inferiores de la estructura se encontraban en muy mal estado.

Una vez garantizada la continuidad de la cabeza inferior, se procedió a desmontar los elementos corroídos de todos los nudos, y a su sustitución.

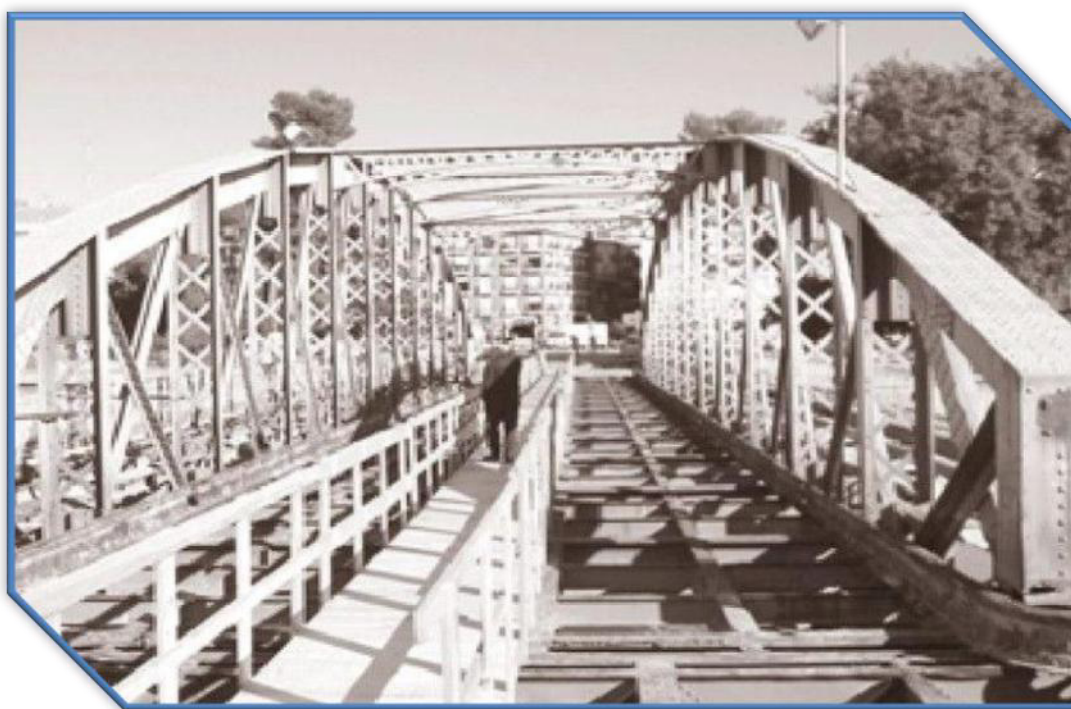
Un caso especial es el de los cuatro nudos de apoyo del arco central, tal vez los más deteriorados y que no pueden ser completados hasta que se levanten de sus apoyos; pero para levantarlos hay que reforzarlos. Esto se resolvió colocando gatos de apoyo fuera del nudo y para ello se sustituyeron previamente las diagonales del primer vano, -las que van al pilar de apoyo- para lo cual se desmontó por completo el nudo inferior, excepto la cabeza inferior, y se cortaron alternativamente cada una de las dos diagonales tras reforzar la otra diagonal.

MONTANTES Y DIAGONALES

Como se ha dicho en el párrafo anterior, la operación más delicada en las diagonales y montantes se ha concentrado en las correspondientes a los cuatro apoyos principales del puente, los del vano central.

En la zona de los apoyos hubo que sustituir los perfiles que presentaban una pérdida de sección elevada. Por lo tanto se comenzó por reforzar la diagonal del primer vano que no toca en el apoyo, de forma que fuese capaz de absorber los esfuerzos que corresponderían a la diagonal que se va a cortar. A continuación se corta la diagonal en mal estado que llega al nudo, juntamente con todas las piezas del nudo y se sustituyen con piezas nuevas. Terminada esta fase de la operación, ya se puede acometer la sustitución parcial de la diagonal previamente reforzada y a la nueva unión soldada entre las dos nuevas diagonales. Esta operación se llevó a cabo sucesivamente, es decir un nudo solo cada vez, para asegurar al máximo la estabilidad del puente.

En el resto de las diagonales y montantes se hicieron actuaciones puntuales de limpieza, enderezado y refuerzo concentrado, principalmente en las zonas que estaban en contacto con el antiguo tablero del puente.



APOYOS

Una vez terminados los nudos de los apoyos, en su parte superior, así como renovadas las diagonales del primer vano, se inició la operación de izado del puente. Para ello se contó con un doble conjunto de gatos que levantaron el puente alternativamente en cada extremo.

El objetivo del levantamiento del puente es doble:

Por un lado hay que retirar los aparatos de apoyo metálicos para su restauración y para colocar los nuevos aparatos de apoyo de neopreno bajo los antiguos.

Por otro lado hay que sustituir la cabeza inferior de las vigas principales en la zona de influencia de los aparatos de apoyo.

Para levantar el puente dejando accesible la zona de trabajo, se colocaron los gatos, uno en la zona ya restaurada de la viga principal, pero bajo la influencia de las cartelas de apoyo, y otro en la viga transversal de unión entre las dos vigas principales.

Previamente al levantamiento se preparó la tubería de gas de forma que permitiera el izado del puente, sustituyendo el sistema de cuelgue de la misma y se unieron los aparatos de apoyo con el puente mediante cables, para así poder colocar las placas de apoyo de neopreno bajo los apoyos metálicos y sobre los dados de piedra existentes.

Al realizar esta operación quedaron al descubierto los dados de apoyo de piedra, los cuales, y debido al deterioro de los aparatos de apoyo metálicos por oxidación, estaban fisurados, al recibir directamente los esfuerzos por dilatación térmica de la estructura. Esto nos obligó a retirar los dados de apoyo dañados y a sustituirlos por otros nuevos de hormigón armado y zunchado. La solución adoptada vino impuesta por la necesidad de acortar el tiempo en que la estructura estaba sobre gatos (situación inestable y poco grata), y por el deseo de incrementar lo mínimo posible el plazo total de la obra, que hubo de ampliarse en un mes debido a este imprevisto.

Mientras se picaban los viejos dados de apoyo de piedra y se preparaban los nuevos de hormigón armado y zunchado, se desmontaron, limpiaron y restauraron los viejos apoyos metálicos que tenían los rodillos de deslizamiento totalmente gripados.

CORDÓN SUPERIOR

En el cordón superior la situación era semejante a la del cordón inferior, es decir la cabeza en mal estado -elemento horizontal donde duerme el agua- y el alma en mejor condición -elemento vertical donde el agua escurre- y por lo tanto se podía conservar.

El elemento favorable consistía en la ausencia de apoyos en dicho cordón, lo cual evitaba las delicadas operaciones realizadas en el inferior; pero a cambio existía el peligro de pandeo del elemento sometido a compresión. Para evitarlo se colocaron apeos inclinados que triangulando el cordón superior, impedían el temido pandeo.

Por los demás las operaciones fueron similares, aunque más sencillas por la facilidad de acceso, a las realizadas en el cordón inferior. Se cortaron los roblones y se comprobó el buen estado de los angulares de co-

VANOS LATERALES

Las franjas visibles de los vanos laterales entre las pilas y los muros del encauzamiento, se dejan colocadas para guardar la imagen del puente; pero no son necesarias desde el punto de vista estructural, ya que el tablero es autoportante y salva por sí mismo esa distancia.

El vano de la margen izquierda se corta en el muro del encauzamiento, para liberar el puente restaurado de la carga que representa el resto enterrado de la estructura. Para proteger la acera, se construye un muro de hormigón, que la independiza del resto de la estructura ya que dicho resto está hueco.

Los vanos laterales quedan así empotrados en el muro de encauzamiento y apoyados en sus nuevos apoyos sobre las pilas.

El tratamiento dado a estos vanos laterales es el mismo que al resto de la estructura en cuanto a limpieza, chorreado y pintado; pero no se sustituye pieza alguna en los mismos.

TABLERO

Terminada la estructura de las vigas principales, se colocaron los refuerzos en las viguetas, con los pernos de anclaje para recibir el nuevo tablero y dejar oreada y accesible la antigua estructura del tablero.

Sobre estas viguetas reforzadas se colocaron las placas pretensadas alveolares que constituyen el nuevo tablero, cortando la zona de apoyos para colocar los refuerzos de cortante y disponiendo sobre ellas un mallazo electrosoldado como armadura de la losa de hormigón que se vertió encima.

VOLADIZOS LATERALES

Los voladizos laterales, que constituían las antiguas aceras, han recibido el mismo tratamiento que el resto de la estructura. Los cuchillos que las forman fueron reforzados y eliminados los oxidados largueros, susti-

tuidos por un nuevo larguero de borde sobre el que se fijó por razones estéticas la pieza primitiva, conservándose así la imagen robtonada característica del puente.

El tablero del voladizo es el mismo que el del resto del tablero y se aprovecharon los alvéolos de las placas pretensadas para el paso de las canalizaciones de electricidad, semáforos, telegrafía, etc., que atraviesan el puente y que antiguamente colgaban del mismo por el exterior de forma poco limpia.

PAVIMENTO

Tras un tratamiento de impermeabilización de la losa del tablero, se procedió a colocar el pavimento.

El pavimento del puente es de adoquín de granito de 7 cm de espesor, formando un dibujo sencillo geométrico a dos colores (gris y rosa) que refleja la modulación estructural del puente. Los bordillos son de granito gris y en la zona hueca entre los arcos, se colocó una rejilla tipo "tramex", como ya se ha dicho. La junta de dilatación es metálica sin espacio abierto, para evitar posibles daños en los tacones finos.

BARANDILLA

La barandilla del puente se ha restaurado completamente, reponiendo las piezas que faltaban y dándole una geometría homogénea. Al mismo tiempo se ha mejorado la sujeción de la misma mediante anclajes de acero inoxidable.

El sistema previsto en proyecto para montantes huecos no se pudo aplicar ya que los montantes resultaron ser macizos de fundición y así se hicieron algunos que faltaron para completar la barandilla. La pintura de la barandilla es más oscura que la del resto de la estructura para lograr un contraste y marcar la diferencia entre los materiales distintos, acero y fundición.

ILUMINACIÓN

Hay tres tipos de luminarias en el puente propiamente dicho.

Una en la parte superior del interior del centro del vano como iluminación para los peatones.

Otra en la parte superior del exterior del centro del vano para iluminar las aceras y dar contraste a las barandillas

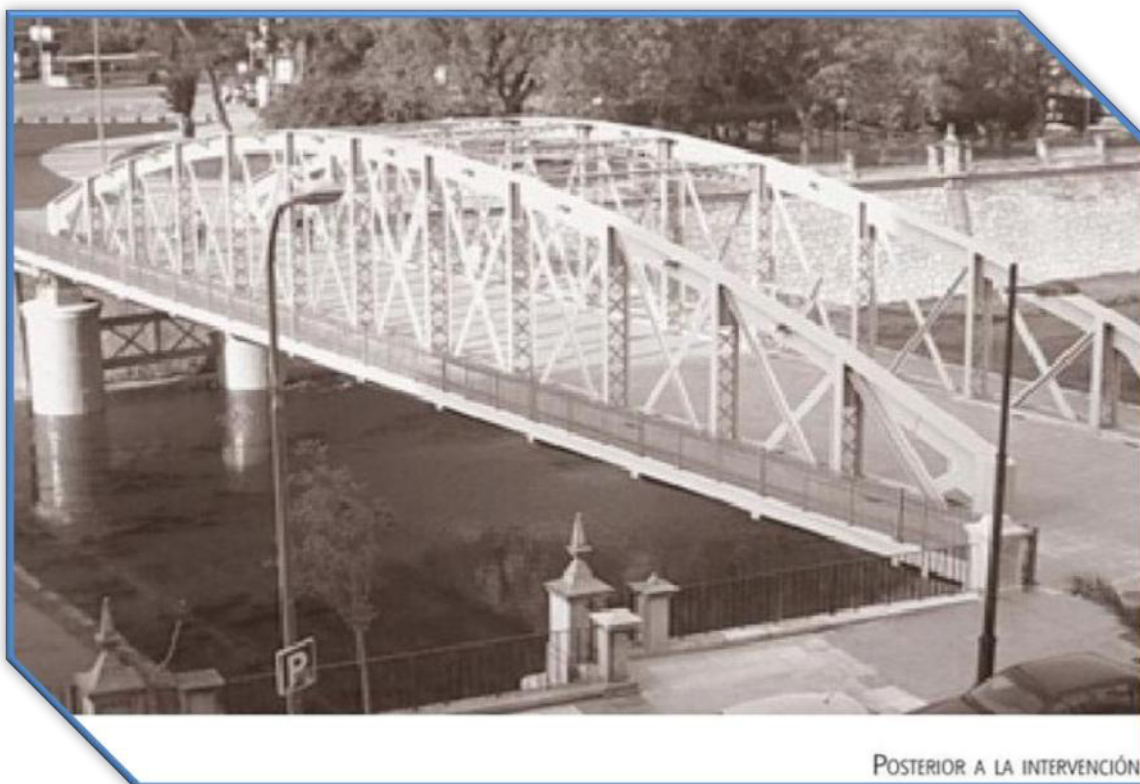
Y una tercera en la parte inferior de los arcos, bajo las rejillas de tramex y apuntando hacia arriba como iluminación arquitectónica del puente.

En las aceras se ha completado la iluminación urbana.

CONCLUSIÓN

Todas las personas que hemos colaborado en esta obra de restauración, agradecen al Excmo. Ayuntamiento de Murcia y a la Consejería de Cultura la oportunidad que nos han brindado. Estamos muy orgullosos del resultado obtenido, y esperamos que los vecinos de Murcia disfruten otros cien años de nuestro Puente Nuevo. Que vuelve a merecer su nombre.

Javier Manterola Armisen, Javier Fernández Revenga y Javier Muñoz-Rojas Fernández. Autores del Proyecto y de la Dirección de Obra. Murcia, junio de 2003.



POSTERIOR A LA INTERVENCIÓN

CAPITULO 2: La fotogrametría.

2.1 INTRODUCCIÓN:

Para una mejor comprensión de este proyecto, debemos poner en contexto de la mejor manera posible la técnica a trabajar en él, la fotogrametría.

2.2 LA FOTOGRAMETRÍA:

Es una disciplina que crea modelos en 3D a partir de imágenes 2D, para de esta manera obtener características geométricas de los objetos que representan, mediante el uso de relaciones matemáticas establecidas en la geometría proyectiva, y de la visión estereoscópica que posee en forma natural el ser humano. Ya que las imágenes de los objetos son obtenidas por medios fotográficos, la medición se realiza a distancia, sin que exista contacto físico con el objeto.

2.2.1 Algunas definiciones:

- La fotogrametría puede definirse como el arte, ciencia y tecnología cuyo fin es el de obtener información cuantitativa fiable relativa a objetos físicos y su entorno, mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing- 1979).
- La fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de fotografías, para de esa manera obtener

características métricas y geométricas del objeto fotografiado (Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos).

- La fotogrametría es la técnica para estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando medidas realizadas sobre una o varias fotografías (H. Bonneval)

Al interpretar estas definiciones resaltamos el carácter científico y cuantitativo de la fotogrametría, en clara asociación con las dimensiones, forma y posición espacial de los objetos fotografiados.

Etimológicamente, la palabra fotogrametría se deriva de las palabras griegas φως photos, que significa luz; γραμμα, gramma, que significa lo que está dibujado o escrito, y μετρον, metrón, que significa medir. Usando en conjunto esas palabras fotogrametría significa medir gráficamente por medio de la luz.

2.3 INICIOS E HISTORIA DE LA FOTOGRAMETRÍA:

Desde sus inicios, la fotogrametría se ha convertido en la herramienta indispensable en la producción de la base cartográfica de todos los países del mundo; de hecho, la mayoría de la cartografía topográfica de nuestro planeta ha sido realizada por medio de esta disciplina. Si bien la fotogrametría tuvo su inicio en el levantamiento de fachadas arquitectónicas y plantas de edificios, al igual que en el caso a tratar en este proyecto, que realizaremos el

levantamiento de un puente con su posterior modelado en 3D, mediante el uso de fotografías terrestres, pronto se utilizaron las fotografías aéreas para el levantamiento de la cartografía de base, lo que le dio el tremendo auge que ha mantenido hasta nuestros días. Esta capacidad de cartografiado de base la convierte también en la fuente primigenia de información para la cartografía temática y para los sistemas de información geográficos SIG.

Como consecuencia de la utilización de la fotografía aérea, se desprendió de la fotogrametría la disciplina de la fotointerpretación, la cual comparte sus fundamentos básicos con la fotogrametría aérea. A partir de los años ochenta, el desarrollo acelerado de la computación, condujo al establecimiento de la teledetección como consecuencia lógica de la evolución de la fotointerpretación, así como al desarrollo de técnicas de tratamiento computarizado de imágenes digitales y al desarrollo de la visión por ordenadores. Actualmente, con el apoyo de la computación, la fotogrametría se ha convertido en una disciplina indispensable en el campo de la cartografía, a la vez que aumenta el número de sus usuarios debido a que los equipos fotogramétricos de elevado precio, están siendo sustituidos por programas de precio menor, o por programas desarrollados por los mismos usuarios.

La fotogrametría es una disciplina resultado de la convergencia de la óptica, la fotografía, las matemáticas (especialmente la geometría proyectiva), para realizar levantamientos de carácter cartográfico principalmente. Por ello podemos iniciar sus raíces en la óptica, la primera de estas ciencias que tuvo

un desarrollo práctico y cuyo aporte es fundamental, tanto en la captura de imágenes, como en su posterior reconstrucción, y cuyo desarrollo teórico y práctico permitió la popularización, por parte de los pintores, de la cámara oscura, la cual constituye la base de la cámara fotográfica. De hecho, en el siglo XVIII había alcanzado tal popularidad, que eran fabricadas casi en serie, adaptadas a los usos y circunstancias. Así pues, cuando aparecieron las primeras emulsiones fotográficas, ya contaban con un aparato relativamente perfeccionado donde podían ser colocadas para captar la luz. Paralelamente, los métodos matemáticos para realizar el alzado de objetos utilizando perspectivas, también habían sido desarrollados para el momento de la aparición de la fotografía, por lo que la utilización de la misma para el trazado de planos, fue inmediatamente puesto en práctica, con resultados satisfactorios. La utilidad comprobada de la fotografía, para trabajos topográficos, estimuló el desarrollo de técnicas conducentes a mejorar las aplicaciones de la fotogrametría, la cual rápidamente se desplazó hacia una nueva plataforma de toma: las aeronaves.

El nacimiento de la aeronáutica, con la llegada de los aeróstatos (dirigibles), es contemporáneo con el de la fotografía por lo que la ventaja de la perspectiva aérea fue notada y aplicada de inmediato. La primera guerra mundial puso en manos de los fotogrametristas abundantes recursos económicos que permitieron consolidar la fotogrametría aérea. También en esa guerra apareció

una disciplina colateral a la fotogrametría, con un inmenso campo de aplicación: la fotointerpretación.

El desarrollo de las técnicas en fotogrametría continuó de forma progresiva, hasta que el desarrollo de los ordenadores y de la fotografía digital, iniciado a partir de los años 70, le dio un nuevo y poderoso impulso a esta disciplina, llegando de esta manera al estado actual de la fotogrametría, una gran tecnología con un alto grado de sofisticación. De forma paralela al progreso de las técnicas fotogramétricas, se desarrollaron las astronáuticas, permitiendo el acceso de la fotogrametría espacial, mediante sensores instalados a bordo de satélites. De esta manera, la Luna y Marte ya han sido mapeados mediante imágenes tomadas por estos satélites, y actualmente parte de los productos fotogramétricos provienen de imágenes tomadas desde el espacio.

2.3.1 Hitos importantes en la historia de la fotogrametría:

- | | |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1038 | Alhazen publica su tratado sobre óptica, traducido al latín en el año 1270, bajo el título “Opticae Thesaurus Alhazeni libri vii” |
| 1553 | Giovanni Battista della Porta describe detalladamente la cámara oscura; su construcción, así como los usos que se le pueden dar. |
| 1704 | Sir Isaac Newton publica el libro “Opticks”, estableciendo los principios de la óptica moderna. |

- 1725** M. A. Capeller produce un mapa del Monte Pilatus, basándose en dibujos en perspectiva.
- 1727** Johan Heinrich Schulze determina la sensibilidad de las sales de plata a la luz.
- 1759** Johan Heinrich Lambert desarrolló en su obra “Perspectiva libre”, el procedimiento sistemático para la transformación de una perspectiva.
- 1802** Thomas Wedgwood inicia las primeras aplicaciones de las ideas de Schulze.
- 1819** John Herschel descubre el hiposulfito de sodio, que servirá para fijar la imagen.



Ilustración 11. Imagen con hiposulfito de sodio

- 1827** Joseph Nicéphore Niépce toma la primera fotografía del mundo.

- 1832** Sir Charles Wheatstone descubre la forma de recrear la visión estereoscópica mediante dos dibujos con puntos de vista ligeramente diferentes, y un visor para su observación, al que llamó “estereoscopio”.
- 1837** Louis Daguerre, asociado con Niépce, inventa un proceso de yoduro de plata sobre una placa de cuero. El tiempo de exposición, de ocho horas mediante el proceso de Niépce, se reduce a una veintena de minutos.
- 1839** el 19 de agosto, François Arago, un geodesta de la Academia Francesa de Ciencia, anuncia en sesión pública de la Academia de Ciencias de Paris el proceso fotográfico directo creado por Luis Daguerre, dándole el nombre de “Daguerrotipo”.
- 1839** John Herschel adopta el término “fotografía”.
- 1840** François Arago, demostró la posibilidad de usar fotografías en los levantamientos topográficos.
- 1849** el oficial Aimé Laussedat, del cuerpo de ingenieros del ejército francés inicia los primeros experimentos con la perspectiva mediante cámara lúcida, para realizar levantamientos topográficos.



Ilustración 12. Oficial Aimé Laussedat

- 1852** el oficial Aimé Laussedat adopta la fotografía para reemplazar la cámara lúcida en los levantamientos topográficos. A este procedimiento le puso el nombre de “metrofotografía”.
- 1855** el fotógrafo Gaspard-Félix Tournachon (Nadar) toma la primera fotografía aérea del mundo, sobre el poblado de Petit-Bicêtre, desde un globo. El 23 de octubre de ese mismo año, patenta la idea de utilizar la fotografía aérea para realizar los levantamientos topográficos y la realización de mapas.
- 1859** el coronel Aimé Laussedat presenta una recopilación de sus experimentos.
- 1873** creación de las emulsiones fotográficas modernas por John Burgess.

1885 Primer registro fotogramétrico de sitios arqueológicos, en las ruinas de Persepolis.

1888 el capitán Edouard Gaston Daniel Deville inicia la fotogrametría terrestre en Canadá, como alternativa a los levantamientos topográficos extensos, convirtiéndola en un procedimiento rutinario. En el caso concreto de España una de las primeras aplicaciones fue en 1928 con el trabajo llevado a cabo por el ingeniero geógrafo José Soriano Viguera en el Pirineo Central.

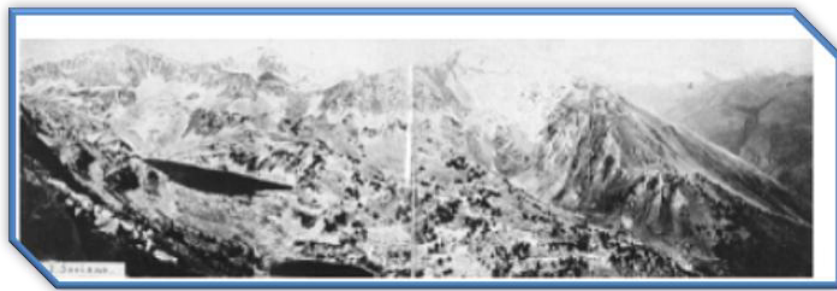


Ilustración 13. Fotograma panorámico del macizo de Beret y lago de Airoto (Lérida)

1892 F. Stolze inventa la marca flotante (índice móvil).

1893 el arquitecto Albrecht Meydenbauer introduce el término “fotogrametría”.

1896 Edouard Gaston Daniel Deville presenta el primer instrumento que usa pares estereoscópicos para realizar planos de línea.

1909 Carl Pulfrich inicia experimentos con fotos estereoscópicas.

- 1909** El 24 de abril, un fotógrafo toma la primera fotografía aérea desde un avión, pilotado por Wilbur Wright, sobre Centocelli, cerca de Roma, durante uno de los vuelos de entrenamiento realizados para oficiales de la armada italiana.



Ilustración 14. "Flyer" de Wilbur Wright, hecho de madera y tela, desde el que se tomó la primera fotografía aérea

- 1910** Fundación de la Sociedad Internacional para la Fotogrametría, ISP en sus siglas en inglés, actualmente ISPRS, en Austria por E. Dolezal.
- 1913** Primer congreso de la ISP, llevado a cabo en Viena.
- 1913** El capitán Cesare Tardivo produce el primer fotoplano basado en fotografías aéreas tomadas desde un avión sobre Benghazi, Libia.

2.4 LA FOTOGRAMETRIA EN ESPAÑA:

En España una de las sociedades más importantes encargadas de la fotogrametría es la SECFT.

La Sociedad Española de Cartografía, Fotogrametría y Teledetección se fundó en el año 1977, con el fin de integrar en una sola Sociedad las actividades que llevaban a cabo, hasta esa fecha, la Real Sociedad Geográfica, en el campo de la Fotogrametría, y el Seminario Español de Estudios Cartográficos de la Asociación Española para el progreso de las Ciencias, en Cartografía.



Ilustración 15. Logotipo SECFT

En el año 1926 España fue invitada por la dirección del II Congreso Internacional de Fotogrametría, celebrado en Berlín, a crear en nuestro país una sección de la Sociedad Internacional.

Así se creó en marzo de 1927 la Junta Constituyente de la Sociedad Española de Fotogrametría que desarrollo su actividad hasta el año 1936. Posteriormente, desde 1940 hasta 1977, fue la Real Sociedad Geográfica

quien ostento la representación española en la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS).

Por otra parte la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias creó en 1957 el Seminario Español de Cartografía, que tuvo la representación de nuestro país en la reunión celebrada en Berna en 1959, en el transcurso de la cual se fundó la Asociación Cartográfica Internacional (ICA). De esta forma España figura entre los 13 países fundadores de esta Asociación.

Estos son los antecedentes de la creación de la SECFT. En ellos tiene sus orígenes la Sociedad que, de hecho, vino a dar continuidad a la labor asociativa que se llevó a cabo desde 1927 en el campo de la Fotogrametría y de la Cartografía.

2.5 ETAPAS DE LA FOTOGRAMETRÍA:

El paso de la proyección central a la proyección ortogonal se puede realizar bien sea por la fotogrametría gráfica, prácticamente en desuso en nuestros días, o por la estereofotogrametría, la cual es usada actualmente en la inmensa mayoría de los trabajos fotogramétricos.

La fotogrametría gráfica, usando los principios de la geometría proyectiva, marcó el inicio de esta disciplina, ya que para la época era la única forma en que se podían restituir las fotografías. Esta modalidad se basa en la

intersección de líneas que parten de dos estaciones diferentes, es decir de los puntos en que se tomaron las fotografías, hacia un punto común. Actualmente, gracias a la capacidad de cálculo que ofrecen las computadoras, el uso de esta forma de restitución se ha convertido, para algunos casos especiales, en una alternativa que puede competir con la estereofotogrametría.

La estereofotogrametría se basa en la visión estereoscópica para recrear en la mente del observador un modelo estereoscópico a partir de un par de fotografías, tomadas cada una de ellas desde una posición diferente, para ser observadas en forma separada por el ojo respectivo. De esta manera, cada ojo transmite al cerebro una imagen ligeramente diferente del otro, tal como lo hacen al observar los objetos tridimensionales. El cerebro interpretará entonces esas diferencias como diferencias en la profundidad, y formará un modelo estereoscópico en la mente del observador.



Ilustración 16. Estereoscopio antiguo

Si se introduce un punto artificial sobre cada fotografía, mediante el aparato de observación, de manera que la posición relativa entre los mismos pueda variar, la sensación de profundidad para el punto también variará. La posibilidad de colocar un punto cuya altura sobre el modelo puede ser modificada, así como la posición sobre el mismo, permite establecer un nexo entre el modelo que el observador recrea y las coordenadas registradas por el aparato de observación, que definen la posición del punto. Si se establece un vínculo entre la marca flotante y un aparato trazador, el recorrido que la marca flotante realiza sobre el modelo será dibujado, teniendo entonces como resultado un plano del modelo. La aplicación del uso de la marca flotante encuentra su expresión en los llamados aparatos restituidores, los cuales son los que realizan los mapas y planos fotogramétricos.

2.5.1 La fotogrametría analógica, que surge en la década de los treinta basada en aparatos de restitución y es la responsable de la realización de la mayoría de la cartografía mundial. En ella, un par de fotografías es colocado en un aparato restituidor de tipo óptico o mecánico. El operador realiza en forma manual la orientación interior y exterior para crear el modelo estereoscópico, debidamente escalado y nivelado. El levantamiento de la información planimétrica y altimétrica del modelo se realiza también en forma manual, mediante el seguimiento con la marca flotante posada sobre los detalles de la superficie del modelo. Esta información es ploteada en una cartulina colocada

sobre la mesa trazadora, relacionada con el modelo por medios mecánicos o eléctricos.



Ilustración 17. Restituidor

2.5.2 La fotogrametría analítica, que aparece en 1957 como un desarrollo natural de la interrelación entre los aparatos restituidores analógicos y el surgimiento de la computación. En ella, la toma de información es analógica y el modelado geométrico es matemático. Mediante el uso de un monocomparador o de un estereocomparador integrado en el restituidor, se miden las coordenadas x , y de los puntos pertinentes de las fotografías, coordenadas que son procesadas por los programas del computador del sistema. Este realiza el procesamiento de la orientación interior y exterior en forma analítica y procesa el levantamiento de la información del modelo que realiza el operador, para llevarla a su correcta posición ortogonal, y finalmente almacenarla en una base de datos tipo CAD.



Ilustración 18. Equipo de Fotogrametría analítica

2.5.3 La fotogrametría digital, actualmente en auge, surge como consecuencia del gran desarrollo de la computación, que permitió realizar todos los procesos fotogramétricos mediante el uso de computadores. Con la fotogrametría digital crecen las posibilidades de explotación de las imágenes, a la vez que se simplifican las tecnologías, permitiendo con ello la generación automática de modelos de elevación del terreno, ortoimágenes y estereortoimágenes, generación y visualización de modelos tridimensionales etc. Para llevar a cabo la restitución digital, las imágenes digitales son ingresadas en el computador, y mediante visualización en pantalla de las mismas, el operador ingresa los puntos necesarios para realizar el proceso de orientación en forma matemática. La restitución puede ser un proceso iterativo con el operador o ser realizada en forma automática por correlación de imágenes. La salida en la fotogrametría digital puede ser en formato raster o formato vectorial.



Ilustración 19. Estudio de Fotogrametría Digital

Fotogrametría según su tratamiento

Tipo de fotogrametría	Entrada	Procesamiento	Salida
Analógica	Película fotográfica	Analógico (óptico-mecánico)	Analógica
Analítica	Película fotográfica	Analítico (Computadora)	Analógica
Digital	Imagen digital	Analítico (Computadora)	Digital

2.6 CLASIFICACION DE LA FOTOGRAMETRIA

2.6.1 Fotogrametría Terrestre: tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología y se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, como la hacemos habitualmente; donde la posición de la cámara y el objeto es perfectamente conocida.

2.6.2 Fotogrametría Aérea: es la que utiliza fotografías aéreas tomadas desde una cámara de toma de vistas, ubicada en una plataforma especial (avión).

2.6.3 Fotogrametría analógica: se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realizaba la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado. Por otro lado la confección de mapas, con información planialtimétrica, se realizaba con el principio de la marca flotante o graficadoras basadas en este principio.

2.6.4 Fotogrametría analítica: con la utilización de los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras se da inicio a la fotogrametría analítica. Se crea al restituidor analítico agilizando los tiempos y logrando niveles de detalle a diferentes escalas. Se posibilita el vuelco de la información a programas de tipo CAD.

2.6.5 Fotogrametría digital: finalmente el avance tecnológico hizo posible llegar a la fotogrametría digital. El uso de las computadoras y los programas o software aplicados dan origen a los modelos digitales del terreno 3D, etc.

Las imágenes digitales son ingresadas a la computadora y el operador puede identificar con buena precisión los puntos homólogos o bien la computadora realiza estas operaciones por comparación de imágenes; finalmente el resultado es una imagen en formato raster o vectorial.

Lo interesante de esta salida (digital) es que puede ser utilizada, como más adelante se verá, como información de base para la generación de los conocidos Sistemas de Información Geográfica (SIG).

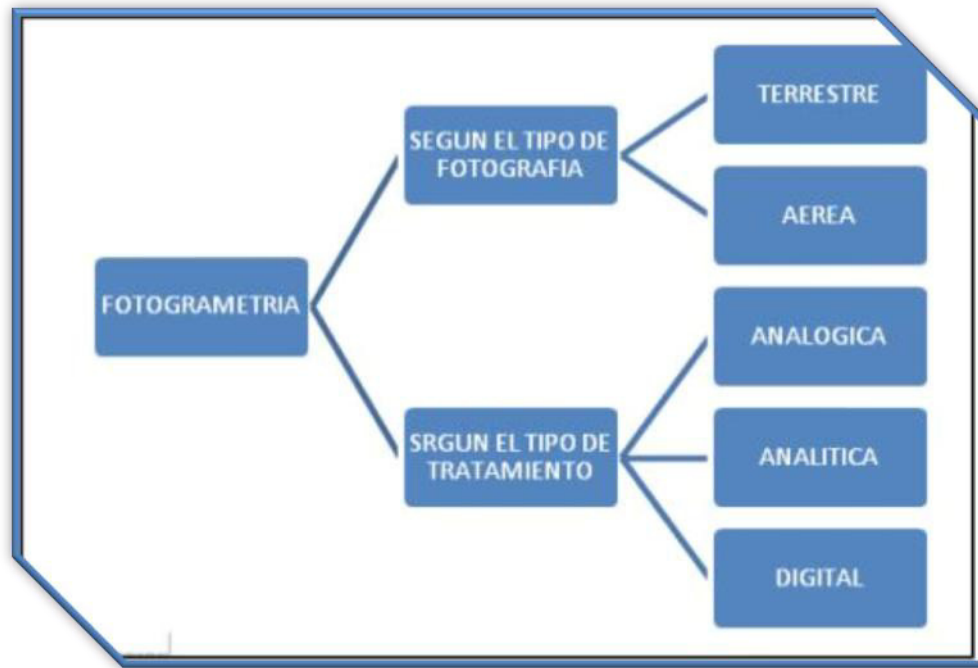


Ilustración 20. Clasificación de la fotogrametría

2.7 APLICACIONES DE LA FOTOGRAMETRIA:

Desde sus inicios fue utilizada con mucho éxito en la generación de mapas (cartas) con curvas de nivel, las cuales proporcionaban información planialtimétrica de una zona determinada. En nuestro país las cartas del Instituto Geográfico Militar (IGM), hoy Instituto Geográfico Nacional (IGN) fueron relevadas en su mayoría por estos métodos.

En la Ingeniería se utiliza esta técnica en el estudio de proyectos de rutas, autopistas, presas, canales, acueductos, oleoductos, gasoductos, obras de arquitectura, relevamientos catastrales, geológicos, agrícolas, uso del suelo, etc.

2.7.1 Las ventajas más relevantes que la disciplina propone son:

- a. Reducción de costos de proyecto, ya que según estudios económicos la rentabilidad del método frente a la tradicional topografía se hace cada vez mayor a medida que se incrementa el área de estudio (menor tiempo de trabajo).
- b. Registro multitemporal, en efecto al utilizar fotografías de una zona en un determinado momento, es posible la comparación con otras épocas, de modo que es posible determinar D cambios en el uso del suelo.
- c. Alternativa (única) para el relevamiento de regiones intransitables, ya sea por problemas topográficos, geográficos o políticos.

2.7.2 Entre las desventajas consideramos:

- a. Costo elevado para trabajos de poca envergadura.
- b. Utilización de personal muy calificado y de experiencia.

CAPITULO 3: Tipos de imágenes y Geometría de la toma fotográfica.

3.1 TIPOS DE IMÁGENES.

Describiremos ahora los tipos de toma fotográfica que podemos llevar a cabo en un trabajo fotogramétrico, así como los tipos de cámaras, digitales o no, por las que podemos optar, realizando también un breve acercamiento al mundo de los escáneres fotogramétricos con los que digitalizar imágenes analógicas previamente capturadas mediante cámaras convencionales.

3.1.1 Cámara fotográfica.

La máquina utilizada para realizar las capturas necesarias para cualquier trabajo fotogramétrico puede ser tanto analógica como digital, si bien en nuestro caso optaremos por una cámara digital, una Nikon coolpix P6000 (imagen siguiente).



Como diferencia primordial entre ambas sabemos que, mientras las cámaras analógicas utilizan como soporte una película fotográfica de gelatina especialmente diseñada, las digitales hacen uso de unos elementos sensibles

a la luz que permiten traducir directamente la imagen a un formato digital que detallaremos en adelante.



Ilustración 21. Carrete convencional vs Memorias digitales

Entre tanto, las cámaras fotográficas pueden clasificarse según otros muchos aspectos. Pero en este caso las vamos a dividir en:

CÁMARAS MÉTRICAS

Este tipo de cámaras son aquellas para las que el fabricante realiza una calibración de precisión en laboratorio, normalmente por el método del multicolimador, y ofrece un certificado de los valores de la distorsión para unos ciertos valores de focal. Ello conlleva, además, la estabilidad total de los elementos ópticos de la cámara. Para el caso de las analógicas, se proyectan en el negativo un conjunto de marcas fiduciales que, representando el sistema de coordenadas de la imagen, garantizan la recuperación de la geometría interna de la toma.

CÁMARAS NO MÉTRICAS

En este grupo congregamos aquellas cámaras cuya distorsión óptica no es conocida de antemano, esto es, no están calibradas, por lo que si queremos usarlas con fines fotogramétricos debemos recurrir a algún procedimiento de calibración adecuado según las precisiones requeridas y, sobre todo, los recursos de que dispongamos. Este es el caso en el que nos encontramos, pues nuestra cámara fotográfica es una máquina no concebida en su desarrollo para estos menesteres. En lo sucesivo veremos un método sencillo y económico de calibrar esta, nuestra cámara, con una precisión bastante aceptable mediante Photomodeler, el programa elegido para el desarrollo del proyecto.

CÁMARAS SEMI-MÉTRICAS.

Las cámaras conocidas como semi-métricas se sitúan en un camino intermedio entre las dos anteriores. Son máquinas más estables que las no métricas o amateur pues, partiendo de estas, se añade entre las lentes y el plano de la película, para el caso de las analógicas, una placa de vidrio reticulada llamada placa “réseau” con unas marcas fiduciales perfectamente conocidas, de manera que cada vez que se use la cámara se puedan utilizar estas marcas impresas en la película para determinar la posición del punto principal y la deformación del plano de la película, posibilitando la correcta realización del

resto del proceso fotogramétrico. Para el caso de las cámaras digitales, es la misma placa del sensor la que, de tener la suficiente garantía de fabricación, puede interpretarse como una retícula formada por la matriz de píxeles de coordenadas imagen dadas por la fila y la columna de cada píxel.

3.1.2 Digital o Analógico.

Como podemos ir observando a lo largo de las páginas anteriores, la disputa entre ambas modalidades está servida, pues la alternativa a las cámaras analógicas convencionales son las cada vez más extendidas cámaras digitales, cuyo uso ha ido y va incrementando de manera paralela a la mejora de su calidad y resolución. Hay muchas diferencias entre las cámaras analógicas y las digitales, pero señalaremos tres de ellas:

1. En una cámara digital, la parte sensible no es una película fotográfica sino un conjunto estructurado de elementos dispuestos en forma matricial o lineal, sensible a la luz; un sensor CCD.
2. El procesado pasa de ser químico (revelado, baño de paro, fijado, lavado, secado y copiado) para las cámaras analógicas a ser electrónico (una transformación analógico-digital de la intensidad de luz a un valor numérico) en las cámaras digitales.

3. En una máquina digital, el soporte ya no es, obviamente, la propia película fotográfica, sino un sistema de almacenamiento digital (disco óptico o magnético, tarjeta de memoria...).

Viendo estas tres claras diferencias, se vislumbran unas ventajas y unos inconvenientes a la hora de utilizar, con fines fotogramétricos, las cámaras y/o imágenes digitales en lugar de las analógicas. Las ventajas son realmente interesantes para cualquier ámbito de la fotografía, y por ende para cualquier campo fotogramétrico y pueden resumirse en los siguientes puntos:

VENTAJAS

- Contamos con una disponibilidad inmediata de la imagen, lo que nos facilita entre otras cosas, poder observar y corregir errores y desechar capturas.
- La eliminación del, ahora sin sentido, proceso de revelado.
- Desaparecen los costes del material fotográfico y el costosísimo proceso de digitalización mediante escáner.
- Las imágenes digitales, por su soporte de almacenamiento carecen de los problemas derivados de la estabilidad dimensional que afecta a las imágenes analógicas cuando se modifican las condiciones medioambientales de su almacenamiento. Por otro lado, al no requerir la

manipulación directa a la hora de ser utilizadas se elimina el deterioro producido por esta causa.

- Las imágenes digitales permiten una fácil duplicación y transmisión siendo únicamente necesario disponer de los medios informáticos apropiados.
- Las características de la imagen tales como brillo y contraste pueden ser modificadas mediante el empleo de técnicas de análisis de imágenes, con el objetivo de mejorar la calidad visual de la misma y así favorecer la interpretación o bien para poner de manifiesto algún tipo de característica de la imagen.
- Los productos derivados del formato digital son fácilmente integrables en entornos tipo CAD o SIG.
- Debido a las características de las imágenes empleadas se eliminan gran parte de los elementos de mayor coste de los sistemas analógicos (ópticas y sistemas mecánicos de precisión), disminuyendo de una forma considerable los gastos de mantenimiento.
- Al tener un mayor rango dinámico, ofrecen una elevada resolución radiométrica, dándose así gran facilidad para captar los diferentes matices de color de la realidad y, en consecuencia, una mayor cantidad de información diferenciable en las zonas de sombras.
- Mejora la relación entre la señal y el ruido.

- La fidelidad del color es realmente elevada al no existir procesos químicos de revelado ni de escaneo.
- Son capaces de registrar información espectral dentro y fuera del rango visible, capturando por tanto información multiespectral.

Los inconvenientes, por su parte, son prácticamente irrelevantes en el campo de la fotogrametría terrestre, pero sin embargo son de una importancia elevada en el ámbito de la fotogrametría aérea:

INCONVENIENTES.

- Se trata de una técnica de muy reciente aparición, por lo que en muchos aspectos aún puede estar inmadura.
- Los sistemas de digitalización de imágenes analógicas de resoluciones extremas, los escáneres digitales especializados, aún son muy caros.
- La necesidad de almacenamiento es muy elevada para los niveles de precisión exigidos en fotogrametría aérea. Así, una imagen en blanco y negro de 23x23 cm digitalizada a una resolución suficiente, expresada como tamaño de píxel de 15µm, ocupa un espacio en disco superior a los 200 Mb (256 tonos de gris), habiendo que multiplicar por 3 esta cifra si el almacenamiento se realiza en color real (16.7 millones de colores).
Teniendo entonces en cuenta que en un proyecto se manejan un número considerable de imágenes, los volúmenes de almacenamiento

requeridos son importantes. En fotogrametría terrestre este punto es irrelevante, pues no necesitamos imágenes de tantísimo tamaño.

- Una cámara digital específica para fotogrametría aérea es aún de un precio mucho más elevado que una analógica. Al igual que el punto anterior, para fotogrametría terrestre esto no es un inconveniente.
- Las cámaras digitales para fotogrametría aérea poseen, de momento, menor resolución geométrica que las analógicas. De manera análoga al punto anterior, en fotogrametría terrestre esto no es un inconveniente.
- En fotogrametría aérea, es un gran inconveniente la necesidad de realizar un vuelo mucho más elevado que si dispusiéramos de una cámara analógica, ya que con las digitales se necesita un tiempo mayor para cada exposición. En fotogrametría terrestre esto es irrelevante.

Como vemos, tanto en las ventajas como en los inconvenientes del uso de las imágenes digitales frente a las analógicas se hace mención en alguna ocasión a la utilización de escáneres digitales que convierten una imagen analógica, tomada con una cámara fotográfica convencional, a una imagen digital. La precisión, resolución y calidad de este proceso son de vital importancia, especialmente relevante en casos de, de nuevo, fotogrametría aérea, que como vemos exige unas condiciones mucho más difíciles de alcanzar en cuanto a tipo de imagen que la terrestre, la que a nosotros nos incumbe.

3.2 GEOMETRÍA DE LA TOMA FOTOGRÁFICA.

La toma fotográfica puede ser normal, oblicua o convergente. Esta clasificación se establece según la dirección de la toma en sí respecto a la línea que une los centros de proyección de cada posición de la fotografía, línea base, asumiendo que los ejes ópticos son coplanarios. Además se hablará de toma inclinada si el plano de los ejes ópticos no coincide con la horizontal.

El cómo se tomen las fotografías es la característica fundamental para conseguir un buen proyecto. Para la fotogrametría terrestre la mejor manera de tomar las fotografías es realizar una toma convergente puesto que permite mayor facilidad a la hora de establecer puntos homólogos. Esto se debe a que las tomas convergentes necesitan menos fotografías para cubrir el mismo espacio estereoscópico y presentan mayor fiabilidad interna, dado que cada punto posee más de una línea epipolar (mayor redundancia). La toma convergente aporta al proyecto facilidad de uso y precisión. Sin embargo, para ejecutar las nubes de puntos Photomodeler se basa en el concepto de la fotogrametría aérea, donde la toma es paralela. En fotogrametría aérea el cálculo se realiza por superposición de las imágenes (visión estereoscópica) por tanto el modo de obtener las fotografías es produciendo un barrido continuo de fotografías lo más ortogonales posible al terreno y que compartan gran parte de la imagen, de modo que se puedan solapar entre ellas.



Ilustración 22. Toma convergente



Ilustración 23. Toma paralela oblicua



Ilustración 24. Toma paralela normal

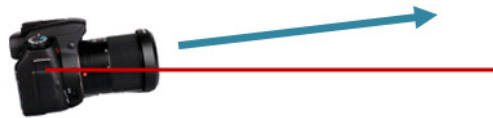


Ilustración 25. Toma inclinada

Esta clasificación se aplica de forma prácticamente exclusiva a tomas de tan sólo un par de fotografías. Cuando se utilizan varios pares, como es el caso del presente proyecto, el diseño es más variado pues la coplanaridad de los ejes ópticos es fácil que no se respete además de que la línea base no configura un único elemento rectilíneo (nos estamos moviendo alrededor del puente). En este caso se está haciendo uso de lo que se denomina redes.

Coplanaridad:

La condición de coplanaridad expresa que los puntos de vista de dos fotogramas, S_1 , S_2 , dos puntos homólogos contenidos en los mismos, a_1 , a_2 , y el punto homólogo de estos en el terreno, A , pertenecen al mismo plano.

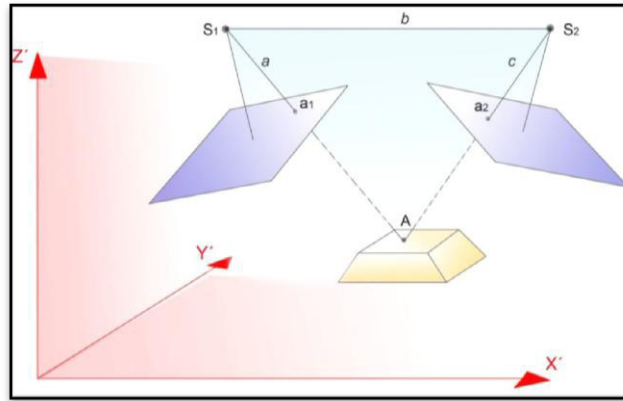


Ilustración 26. Coplanaridad

CAPITULO 4: Orientación fotogramétrica.

4. ORIENTACIÓN

La orientación en fotogrametría es el proceso por el cual se determina la posición de la cámara cuando se tomaron las fotografías y a través de ello, la posición de los puntos que configuran las propias fotografías.

Este proceso se realiza en tres etapas: orientación interna, relativa y absoluta.

4.1 ORIENTACIÓN INTERNA.

Se puede definir la orientación interna como el proceso que permite pasar de una fotografía normal a una fotografía sobre la que se puede medir (fotograma). Consiste en determinar la relación entre el sistema de coordenadas pixel y el sistema de coordenadas transformadas, determinando el punto principal de la imagen y el valor de las distorsiones causadas por la lente. Para ello se recurre a la calibración de la cámara.

En esta fase obtenemos unos parámetros necesarios, propios de nuestra cámara, a partir de los que podremos llevar a cabo con gran fiabilidad el levantamiento fotogramétrico, utilizando unas imágenes que, al ser corregidas con dichos parámetros, pasan a denominarse técnicamente fotogramas.

Visto de una manera más teórica, la orientación interna permite establecer la transformación entre el sistema de coordenadas píxel y el sistema de coordenadas transformadas, cuyo origen es el punto principal. Photomodeler

utiliza este punto principal como centro “práctico” de sus procesos y hace uso del sistema de coordenadas transformadas, que son en esencia las coordenadas pixel primitivas corregidas de cualquier distorsión y colocadas en su posición correcta.

Así, el proceso de orientación interna se reduce inicialmente a una traslación del sistema de coordenadas dado el cambio del punto central y a la determinación de este punto y otros parámetros con los que corregir las distorsiones que toda lente procura por defecto de montaje. En esta línea, la calibración de cualquier cámara digital posibilita el paso de coordenadas en píxel a coordenadas transformadas, y de transformadas a imagen, todo ello de forma analítica, sin modificación de la imagen original.

4.2 CONCEPTOS DE CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA.

Si la fotogrametría consiste en medir a través de fotografías, la cámara fotográfica se convierte en el instrumento de medida y como tal, debe someterse a un proceso de calibración para poder operar correctamente con él.

Cuando se realiza una toma fotográfica de un objeto de cerca, se puede apreciar cómo el objeto se curva ligeramente. Este efecto es conocido como “efecto barril”. También puede darse el caso contrario, que la fotografía se curve de forma cóncava. Ambos efectos se producen porque las cámaras fotográficas deforman la realidad al introducir la imagen por su objetivo.

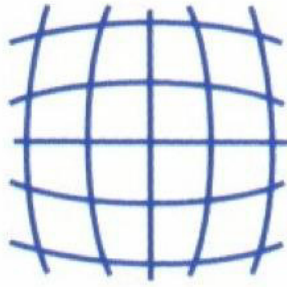


Ilustración 27. Efecto barril

Esta deformación se debe a dos aspectos principales:

- La lente es curva, y por lo tanto introduce deformaciones radiales.
- La no correspondencia entre el eje de la cámara (óptico) y el eje real de la imagen (geométrico).

Se debe tener en cuenta que dos cámaras del mismo modelo comercial pueden presentar ligeras variaciones debido al sensor de la misma y a la lente del objetivo. A pesar de que comercialmente la ficha técnica de la cámara proporciona datos estándares para todas, debido a estas pequeñas variaciones estos datos varían ligeramente de los comerciales y son propios de cada cámara.

4.3 ORIENTACIÓN RELATIVA.

Si para la orientación interna se requiere de la calibración de la cámara, para la orientación relativa se requiere de un buen diseño en la red de la toma fotográfica. La orientación relativa es la que determina la posición relativa de la cámara en la toma fotográfica, es decir, la posición en la toma derecha con respecto a la izquierda. Con ello se pueden obtener los modelos tridimensionales relativos (sin escalar ni situar en el espacio).

La orientación relativa se fundamenta en la determinación de puntos homólogos, que como veremos más adelante será la tarea que más tiempo requiere. Dentro de Photomodeler la determinación de puntos homólogos se tiene que realizar de forma manual [Standard Project]. Un punto homólogo se crea identificando un mismo punto en al menos dos fotografías. Cuando ya se han establecido entre 5 y 10 puntos homólogos el programa avisa de que se puede intentar realizar el proceso de orientación. Este proceso consiste en encontrar la dirección de la cámara (eje óptico) a través de la intersección de estos puntos homólogos, empleando algoritmos de cálculos basados en las leyes de coplanaridad.

4.4 ORIENTACIÓN ABSOLUTA.

La orientación absoluta es la que permite poner en escala y posicionar en el espacio el modelo tridimensional definido. Si se tiene el apoyo de una estación total, basta con referenciar la posición de al menos 3 puntos de control y el programa calculará automáticamente la transformación del sistema de coordenadas relativas al de absolutas. Si no se dispone del apoyo de la estación total también se puede escalar el modelo tomando una distancia de referencia entre dos puntos de control junto con otros puntos que puedan definir al menos el eje vertical (Z) y el eje horizontal (X). Como se comentó al inicio, para el presente proyecto se ha optado por esta última opción. En nuestro caso nos apoyaremos de la toma de puntos con una estación total para posicionar y escalar nuestro puente.

Si no se orienta el modelo a coordenadas absolutas los errores que aparecen en el proyecto figuran en función de pixels, es decir, las desviaciones de cada eje de cualquier punto están en pixels y valorar la precisión resulta complicado. Obtener valores bajos es siempre una buena señal pero al no saber la correspondencia entre pixel y la magnitud real del proyecto (centímetros, metros, etc.,) se puede dar el caso de que estos valores equivalgan a distancias demasiado grandes para aceptar la precisión del modelo. Una recomendación es escalar el modelo en una fase intermedia, cuando ya se

hayan realizado la orientación de un número aceptable de fotografías y poder así determinar si la precisión que se está obteniendo es válida.

4.5 APLICACIÓN EN PHOTOMODELER.

El proceso de identificación de puntos homólogos en varias imágenes que sigue Photomodeler puede automatizarse de diversas formas, como es el caso de la búsqueda sub-píxel que el programa lleva, de forma autónoma, a la hora de identificar los 100 puntos del patrón de calibración con el fin de calcular los parámetros de orientación interna de la cámara, tal y como veremos en adelante.

No obstante, la realización del levantamiento fotogramétrico del Puente Nuevo seguirá un procedimiento que consideraremos “semiautomático”, pues requerirá de la introducción manual de los puntos y sus referencias en todas y cada una de las fotos en las que hagan presencia, pero será a la vez procesado en su conjunto de manera totalmente automática, una vez introducidos estos datos, para obtener así la orientación relativa.

Así, el programa realizará una serie de cálculos con base común en las ecuaciones de la proyección central o ecuaciones de co-linealidad y en el posterior refinamiento iterativo por ajuste mínimo cuadrático cuyo desarrollo teórico-matemático sería más engorroso que productivo y se escapa, además, del objetivo final de este proyecto; esbozar una introducción a los conceptos

más generales y relevantes de la fotogrametría terrestre primero, y en segundo término aérea.

Tras estos pasos, sólo nos faltará brindar al programa los datos que necesita para llevar a cabo la definitiva orientación absoluta y dar así por concluido el modelado tridimensional de nuestro edificio.

Con todo, sí nos parece acertado realizar un acercamiento a la geometría epipolar de la que Photomodeler se vale para facilitarnos el trabajo en gran medida, acelerando el proceso de identificación de referencias de puntos en todas las imágenes y valiéndonos además como un método infalible de detección de errores.

4.6 LA PARALAJE.

La paralaje es la falta de intersección de los rayos homólogos, es decir, los vectores a y c pueden no interseccionar entre sí. En este caso Photomodeler aplica una corrección donde fuerza la intersección de los rayos homólogos en el punto más cercano entre ambos. Esto es posible porque la paralaje es una magnitud lineal. El vector distancia, d , que separa a los dos rayos es perpendicular a éstos y por lo tanto se puede determinar su dirección como el producto escalar de los dos rayos homólogos.

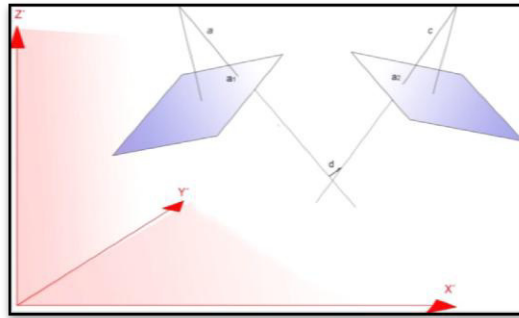


Ilustración 28. Paralaje

4.7 GEOMETRÍA EPIPOLAR.

La geometría epipolar es utilizada por Photomodeler como una herramienta auxiliar. Una vez orientadas las fotografías (realizado el cálculo satisfactoriamente), a la hora de referenciar un nuevo punto homólogo el programa es capaz de trazar la línea epipolar de ese punto en el resto de fotografías donde aparece, lo cual facilita el trabajo de referenciar puntos al reducir enormemente el tiempo empleado en ello.

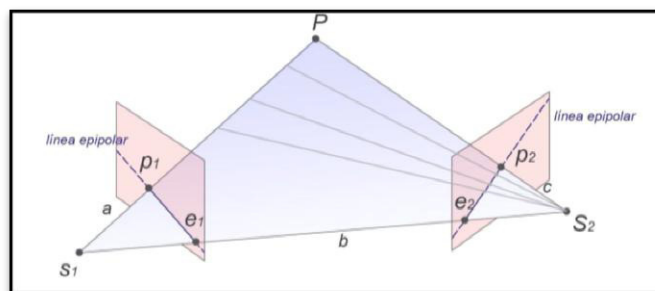


Ilustración 29. Geometría epipolar

Siendo S_1 y S_2 los centros de proyección de las imágenes referenciados en un sistema de coordenadas objeto, a y c los vectores que definen la proyección del punto P de cada plano imagen en sus respectivas coordenadas imagen, p_1

y p_2 , b el vector línea base, y e_1 y e_2 los respectivos epipolos (punto de intersección de la línea base con los planos imagen) la línea epipolar es el vector que une los puntos p_1 y p_2 con sus respectivos epipolos. El plano epipolar es aquel que contiene a la línea base y a los vectores a y c .

La importancia práctica de la geometría epipolar radica en el hecho de que el plano epipolar interseca a cada imagen generando la línea epipolar. Ambos epipolos representan un punto proyectado, en su correspondiente plano imagen, del centro de proyección de la otra cámara. Esta correspondencia establece una aplicación entre los puntos de la imagen izquierda y los rayos de la imagen derecha y viceversa. Por construcción, todos los rayos pasan por el centro de proyección así que todas las líneas epipolares pasan por el epipolo. Se restringe por tanto un problema bidimensional a uno unidimensional.

4.8 ERROR MEDIO CUADRATICO.

La determinación numérica de la medida de una magnitud física está, como sabemos, siempre sujeta a un error que se pone de manifiesto al obtener resultados distintos de una misma medida. Las causas de estos errores son numerosas e irregulares y van, desde deficiencias del instrumento de medida, hasta variaciones debidas a la temperatura o a la atmósfera, entre otros.

Dada la imposibilidad de acotar estos errores accidentales, que no sistemáticos, solamente cabe la posibilidad de ejercer sobre ellos un control

estadístico, a base de obtener, con cierta probabilidad, una cota del error cometido en la medida.

Con ellos, suponemos entonces que los errores accidentales se distribuyen aproximadamente según una variable aleatoria normal de media cero (error nulo), y una desviación típica σ que indica el grado de precisión de la medida.

En consecuencia, denominamos Error Medio Cuadrático, EMC, a la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de los errores verdaderos, E_i . Es decir:

$$Emc = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n E_i^2}{n}}$$

Ahora bien, dada la ya conocida imposibilidad de conocer los errores verdaderos, utilizaremos otra expresión en función de los residuos r , que pueden ser calculados a partir de unos valores más probables. Esta:

$$Emc = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n r_i^2}{n-1}}$$

Por tanto, utilizaremos la suma de los cuadrados de los residuos r siendo $n-1$ la redundancia o grados de libertad. La suma de los cuadrados de los residuos,

concepto muy ligado a la desviación típica, evalúa la dispersión de las lecturas respecto la media.

La desviación típica así calculada es un método práctico y sencillo para conocer la precisión de un conjunto de medidas y será, en adelante, la manera más sencilla de constatar que nuestro proyecto fotogramétrico va por buen camino; a la hora de calibrar la cámara y a la hora de procesar el edificio, es decir, al realizar, respectivamente, la orientación interna y las orientaciones.

CAPITULO 5: Programas y material utilizado

5.1 PHOTOMODELER.

PhotoModeler te permite crear modelos 3D de alta calidad y obtener medidas a partir de fotografías tomadas con tu propia cámara. Es decir, PhotoModeler convierte imágenes planas 2D en geometrías de alta precisión en 3D.



PhotoModeler Scanner contiene todas las funciones de PhotoModeler, y además añade el escaneado y el modelado de superficies de nubes de puntos (Dense Surface Modeling, DSM). De este modo, PhotoModeler Scanner escanea objetos, generando una nube densa de puntos y medidas en superficie.

PhotoModeler Scanner exporta los modelos 3D y las mallas trianguladas a los siguientes formatos: stl, .ply, .txt, .byu, .iv, .facet.

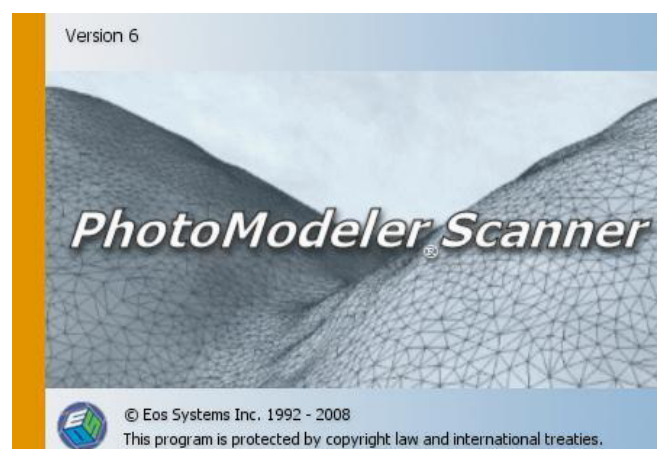


Ilustración 30. Caratula principal PhotoModeler Scanner

Principales características de PhotoModeler Standard

- Fácil manejo y aprendizaje: incluye una interface muy intuitiva de Windows, un asistente para la puesta en marcha de proyectos, diversos tutoriales multimedia, guía de usuario y una amplia ayuda on-line.
- Herramientas de modelado y superficie
- Foto-texturas: añade textura y colores a las superficies. También puedes exportar con 3DS, OBJ, VRML, and 3DM.
- Visor 3D
- Herramientas de medición
- Coded Targets: extracción de los datos 3D usando sistemas de marcado especiales que el software reconoce en las imágenes.
- Escalado, Rotación y Translación: te permite aplicar la escala adecuada a tu proyecto y colocar a tu modelo en el sistema de coordenads adecuado para la exportación.
- Exportación a otros formatos. Puedes portar tu modelo 3D a Autodesk DXF (2D and 3D), 3D Studio 3DS, Wavefront OBJ, VRML (1&2), IGES, OpenNURBS/Rhino, StereoLithography STL, RAW, Maya Script, Max Script, FBX, y Google Earth's KML y KMZ.

5.2 AUTOCAD.

Autodesk AutoCAD es un software CAD utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. El nombre AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, en que Auto hace referencia a la empresa creadora del software y CAD a Diseño Asistido por Computadora (por sus siglas en inglés "Computer Aided Design"), teniendo su primera aparición en 1982.¹ AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más usados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros.

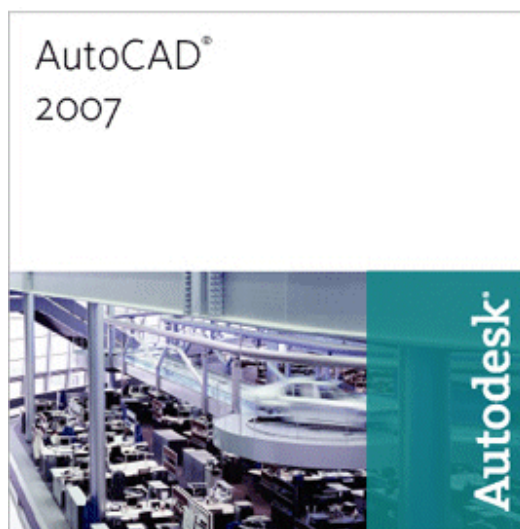


Ilustración 31. Caratula AutoCAD 2007

5.3 CAMARA. NIKON COOLPIX P6000



Ilustración 32. Camara Nikon Coolpix P6000

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Píxeles efectivos 13,5 millones

Sensor de imagen 1/1,7 pulg. CCD; píxeles totales: 13,93 millones aprox.

Objetivo NIKKOR zoom de 4 aumentos; 6,0-24,0 mm (ángulo de imagen en formato de 35 mm [135]: 28-112 mm); f/2.7-5.9; 9 elementos en 7 grupos; zoom digital: hasta 4 aumentos (ángulo de imagen en formato de 35 mm [135]: 448 mm)

Distancia de enfoque (desde el objetivo) 50 cm hasta el infinito (∞); modo macro: 2 cm hasta el infinito (∞)

Soportes de almacenamiento Memoria interna (aprox. 48 MB), tarjetas de memoria SD1

Tamaño de imagen (píxeles) 4224 x 3168 (13M), 3264 x 2448 (8M), 2592 x 1944 (5M), 2048 x 1536 (3M), 1600 x 1200 (2M), 1280 x 960 (1M), 1024 x 768 (PC), 640 x 480 (TV), 4224 x 2816 (3 : 2), 4224 x 2376 (16:9), 3168 x 3168 (1:1)

Reducción de la vibración (VR) VR por desplazamiento de lente

Sensibilidad ISO ISO 64, 100, 200, 400, 800, 1600, 2000, 3200, 6400, Automático (ganancia automática a ISO 64-800), Sensibilidad ISO alta (ISO 64-1600), Intervalo fijo automático (ISO 64-100, 200, 400)

Interfaz USB de alta velocidad

Fuentes de alimentación Batería recargable de iones de litio EN-EL5 (suministrada), Adaptador de CA EH-66 (suministrado)

Duración de la batería 260 tomas aproximadamente con la batería EN-EL5

Dimensiones (An x Al x P) Aproximadamente 107 x 65,5 x 42 mm sin incluir las partes salientes

Peso aprox. 240 g sin batería ni tarjeta de memoria SD

Accesorios incluidos batería recargable de iones de litio EN-EL5,
adaptador de CA EH-66, cable USB UC-E6, cable de audio/vídeo EG-CP14,
correa AN-CP18, CD-ROM Software Suite

Accesorios opcionales cargador de batería MH-61, convertor gran angular
WC-E76, anillo adaptador UR-E21, control remoto ML-L3, flash SB-400, SB-
600, SB-900



Ilustración 33. Perspectivas Nikon P6000

5.4 ESTACIÓN TOTAL. LEICA TPS 407



Ilustración 34. Estación Leica

Características de la Estación Total Leica TPS 407 Power:

Aumento de anteojo: 30X

Precisión angular: 7".

Precisión lineal: 2mm.+2ppm.

Resolución de Pantalla: 1".

Medición de distancias con reflector (Rayo Infrarrojo): con 1 miniprisma 1000m.

con 1 prisma 3500m. con 3 prisma 5400m.

Medición de distancias sin reflector (Rayo Láser): sin reflector 400m. con 1 prisma 7000m.

Alcance aprox. con diana reflectante 60x60cm: 300m.

Memoria Interna: 10000 puntos

Intercambio de datos: IDEX/GSI/DXF/ Formatos flexibles.

Plomada láser y Nivel Electrónico.

Peso con base nivelante y batería: 4.98Kg.

Pantalla: LCD (08 líneas x 24 caracteres)

Temperatura de operación: -20°C a +50°C

Programas incorporados: Topografía, Replanteo, Superficie, Distancia entre dos puntos, Estación Libre y Línea de referencia

La Estación Total Leica TPS 407 Power viene con:

01 Taquímetro TPS 407 POWER

01 Base nivelante

01 Baterías GEB 121

01 Cargador GKL 112

01 Cable USB

01 CD-ROM Survey Office

01 Manual de uso

01 Estuche



Ilustración 35. Equipo completo

***CAPITULO
desarrollado.***

6: Trabajo

6.1 RESUMEN.

En el presente proyecto se ha realizado el siguiente trabajo:

Primero, con nuestra cámara seleccionada realizamos las fotos pertinentes a la plantilla de calibración de Photomodeler, con la intención de introducir las fotos en dicho programa y comenzar con la calibración.

Segundo, seleccionamos las fotos mencionadas anteriormente y las procesamos en Photomodeler para calibrar nuestra cámara.

Tercero, desplazamiento al lugar donde está situado el puente, objetivo de nuestro proyecto y toma fotográfica de este.

Cuarto, procesado de las fotografías tomadas del puente para su orientación en Photomodeler, y posterior toma de puntos homólogos manualmente con el objetivo de realizar un primer tramo del modelado en 3D.

Quinto, nuevo desplazamiento al puente objetivo, esta vez con la estación total topográfica, para la toma de puntos geo referenciados de este y mediciones necesarias.

Sexto, volcado de los datos de la estación total al ordenador, transformación de la nomenclatura de este para la posterior apertura en AutoCad.

Séptimo, finalización del modelado 3D con AutoCad.

6.2 CALIBRACIÓN EN PHOTOMODELER. ORIENTACION INTERNA.

La calibración de nuestra cámara la realizaremos mediante el software de fotogrametría seleccionado para este proyecto Photomodeler Scanner, previamente debemos realizar las fotografías necesarias para ello.

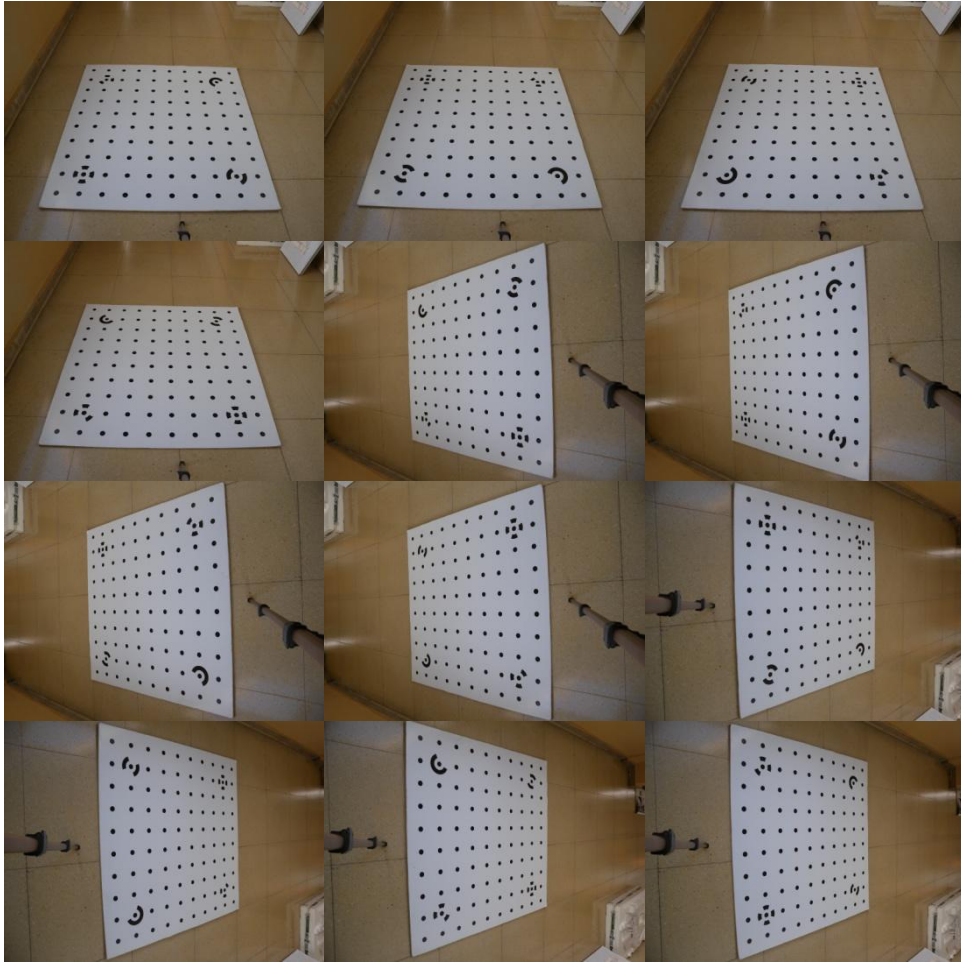
Photomodeler obtiene los datos necesarios para llevar a cabo la orientación interna de la cámara utilizando un patrón impreso de conocidas características, especialmente diseñado para la sección de calibración del programa.

Necesitamos realizar cuatro fotos de la plantilla de calibración en tres posiciones diferentes con nuestra cámara, horizontal, vertical-derecha y vertical-izquierda, un total de doce fotos.



Ilustración 36. Posicionamiento de la cámara

Fotografías realizadas de la plantilla de calibración:



Una vez realizadas las fotografías comenzamos con el proceso de calibración en Photomodeler, abrimos el programa y en su pantalla de inicio seleccionamos la opción “Camera Calibration Project”, ya que antes de realizar cualquier operación en el programa debemos tener calibrada nuestra cámara.

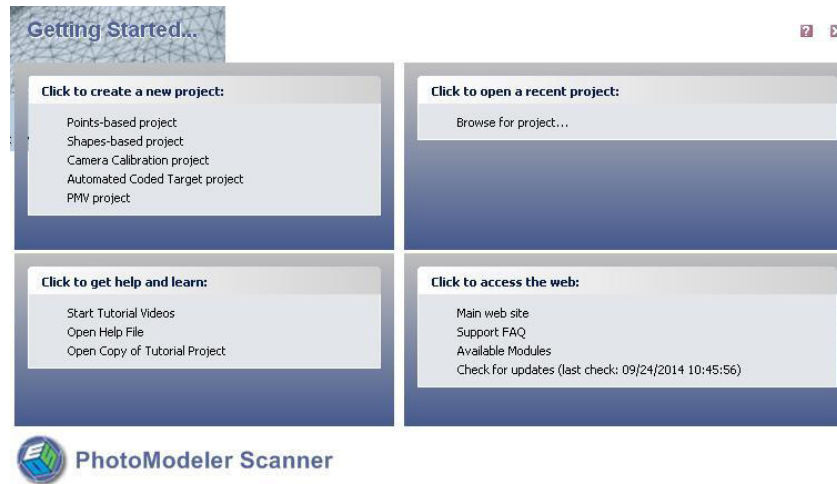


Ilustración 37. Ventana principal Photomodeler "Getting Started"

Una vez seleccionada dicha pestaña nos piden adjuntar las doce fotografías realizadas de la plantilla.

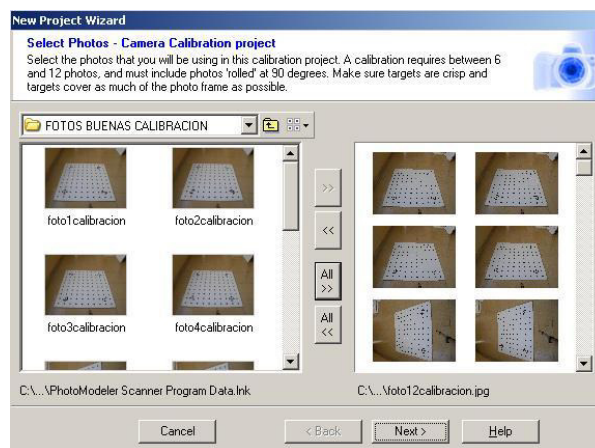


Ilustración 38. Traspaso de fotografías para la calibración

En cuanto demos la orden al programa, este empezará a procesar la calibración. Comenzará reconociendo los puntos del patrón de calibración de cada foto, entre los que distinguirá los 4 puntos de control. Este proceso llevará unos minutos.

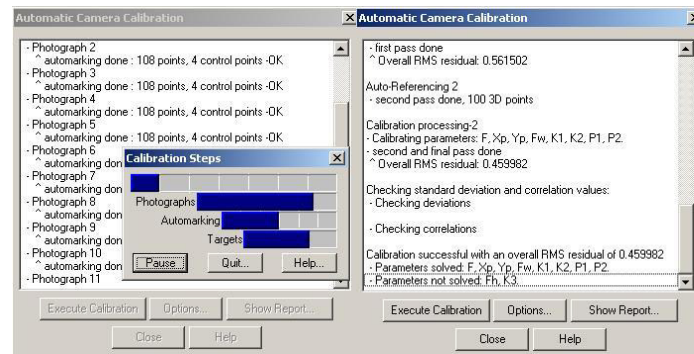


Ilustración 39. Proceso de calibración

Cuando termina el proceso de calibración nos van saliendo ventanas en las que nos aparecen diferentes datos de nuestra cámara con respecto a las imágenes detectadas, tales como el error residual, puntos totales visados en las fotografías, etc.

En la ventana “Project status report” nos aparece un informe detallado de todos los datos de nuestra calibración, así como nuestros incidentes o errores.

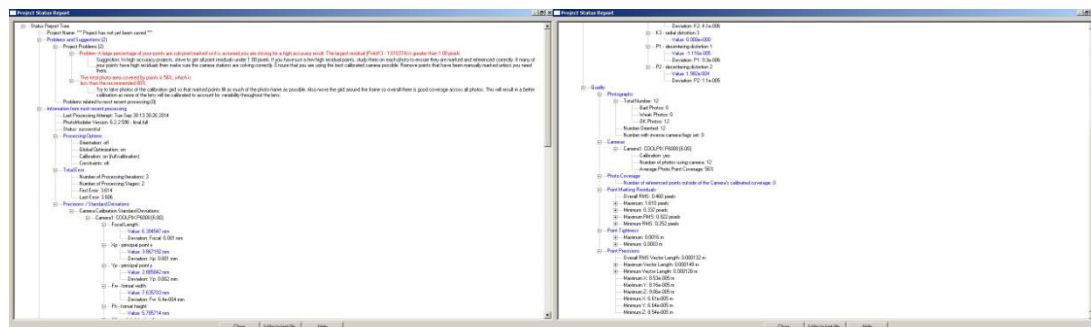


Ilustración 40. Project status report

El programa detecta nuestra cámara y nos da resultados como, formato de imagen, distorsión de la lente, distancia focal (que en nuestro caso es de 6,00 mm), después de todo este proceso debemos guardar nuestro proyecto de calibración para más adelante vincularlo al procesado de imágenes del puente.

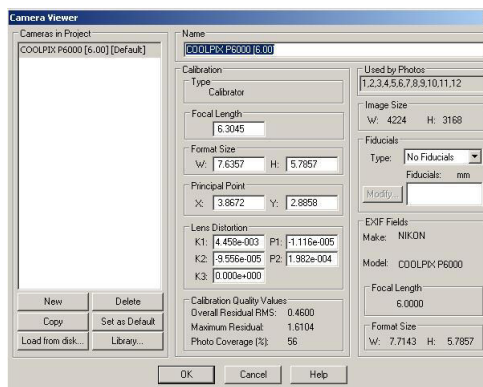


Ilustración 41. Deteccion de la camara en Photomodeler

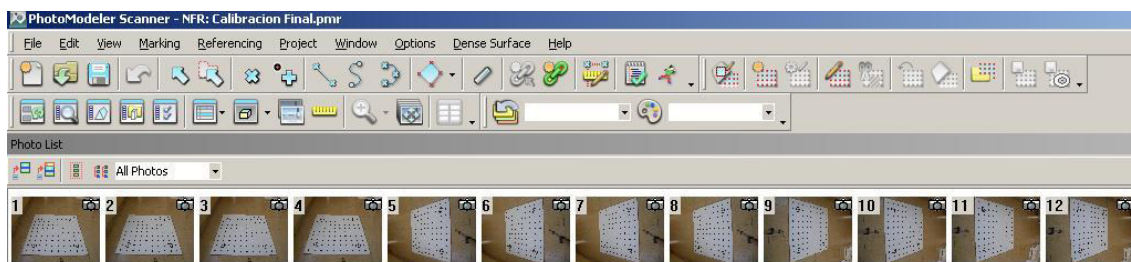


Ilustración 42. Calibracion satisfactoria

6.3 TOMAS FOTOGRÁFICAS.

Una vez familiarizados con el comportamiento de nuestra cámara en relación a los aspectos fotográficos principales, existen una serie de condicionantes que han de tenerse en cuenta a la hora de realizar los disparos.

En primer lugar hay que considerar la accesibilidad al puente así como la libre visibilidad de todas las partes que queremos fotografiar. Vehículos, señales de tráfico, arbolado, personas, etc., cualquier elemento que interfiera entre la cámara y el puente será un gran inconveniente (para nosotros al estar cerrado al tráfico rodado y tratarse de un puente, nuestro principal inconveniente seria el tráfico peatonal y la poca vegetación en su alrededor). Siempre que se

pueda, es recomendable realizar una primera visita en la que se pueda realizar una inspección ocular así como una primera aproximación sobre la posible red de tomas.

En nuestro caso al tratarse de un puente no disponemos de mucho margen de distancia para la realización de las fotografías, aun así tenemos una buena visión del objeto lo que nos permite trabajar con las imágenes tomadas.

En segundo lugar se ha de tener en cuenta las condiciones climatológicas a la hora de hacer la toma. Siempre que se pueda es preferible los días nublados puesto que no generan sombras.

Como vemos en las fotografías tomadas, el día comienza nublado pero a lo largo de la realización de estas va despejándose, al tomar imágenes de uno de los arcos, para más adelante duplicarlo, seleccionamos el arco con más exposición al sol para evitar las sombras y poder trabajar correctamente.

Situación de las cámaras con respecto al puente.

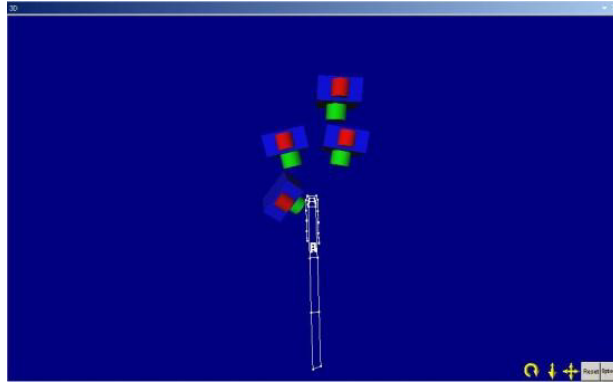


Ilustración 43. Posición de las cámaras con respecto al puente

Algunas fotografías tomadas del Puente Nuevo:



6.4 VISIONADO DE PUNTOS. ESTACIÓN TOTAL.

Para la toma de puntos con la estación total, debemos tener unas nociones básicas previas del manejo de la misma, en este caso vamos a utilizar una Leica TPS 407.



Ilustración 44. Realizando mediciones 1

El primer paso que realizamos es situar la estación en el lugar más conveniente para la toma de puntos del puente, vamos a estacionar dos veces, una a cada lado del puente, en los dos estacionamientos tomaremos puntos de referencia externos a la estructura del puente con el objetivo de que la orientación de la estación sea lo más exacta posible. Una vez elegido el lugar montaremos el trípode, asegurando su estabilidad y atornillaremos la estación encima de él.

El segundo paso y más importante será el encendido y nivelación de la estación, este paso requiere de un poco de habilidad y de un manejo previo de la estación para su ejecución. Comenzaremos nivelándola manualmente con el trípode, después, mediante el nivel que tiene a la vista la máquina, y,

finalmente con la ayuda de las indicaciones que nos da la pantalla de la estación, para que nuestra nivelación sea precisa.

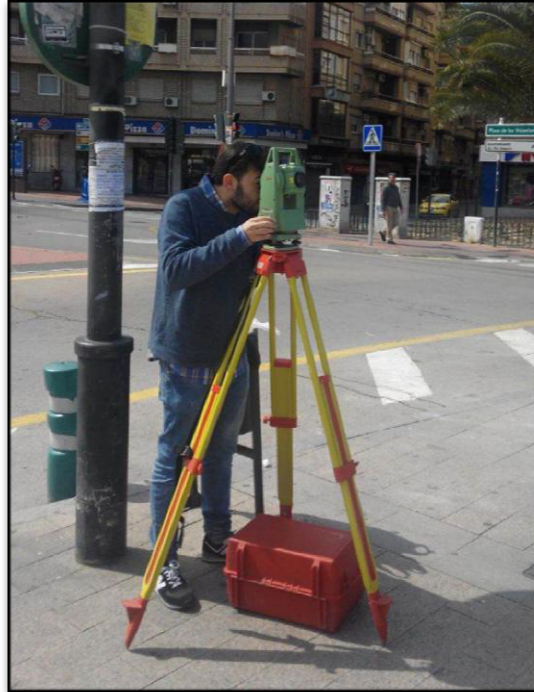


Ilustración 45. Realizando mediciones 2

A continuación, iremos visando los puntos elegidos, cerciorándonos de haberlos tomado correctamente, si en algún momento del proceso, con alguno de los puntos, no estamos del todo seguros con su recepción, repetiríamos el visionado de este para asegurarnos.

Una vez terminado el primer estacionamiento, pasamos al lado opuesto del puente para comenzar con el segundo. Nos basaremos en los mismos puntos de referencia que en la anterior estación, visaremos el emplazamiento de la

“Estación 1”, y tomaremos los puntos elegidos del puente. Todo ello previa nivelación, como con la primera estación.



Ilustración 46. Realizando mediciones 3

6.5 PROCESADO DE LAS FOTOGRAFÍAS. PHOTOMODELER.

En este apartado nos centraremos, en esbozar a grandes rasgos los pasos que hemos seguido para realizar la primera parte de nuestro modelado en 3D, explicando paso a paso los procesos realizados con el software Photomodeler Scanner.

Para comenzar debemos abrir el programa, y en la ventana inicial seleccionar la pestaña “Points-based Project”, lo que nos creará un nuevo proyecto para

que nosotros seleccionemos manualmente puntos homólogos en las fotografías que adjuntemos.

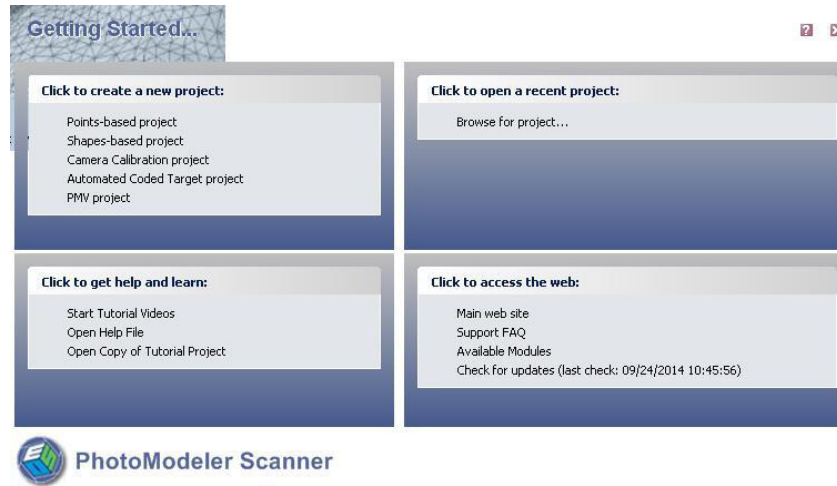


Ilustración 47. Ventana principal Photomodeler

El siguiente paso que completaremos será el de elegir las fotografías con las que comenzaremos a procesar el levantamiento fotogramétrico de nuestro edificio. Para empezar con buen pie, es aconsejable que empecemos con un número reducido de ellas, como bien nos recomienda el programa, a partir de las primeras imágenes iremos progresivamente aumentando el número de estas, a poder ser de una en una, con la finalidad de poder así ir controlando de una forma eficiente los errores residuales y cuadráticos medios que irán surgiendo al completar la orientación relativa de cada una de las imágenes.

Tras varios intentos fallidos, en los que las imágenes no se orientaban, decidí empezar por un ensayo, para realizar modelados en 3D, que nos ofrece el programa, con un cofre simple.



Ilustración 48. Orientacion fallida

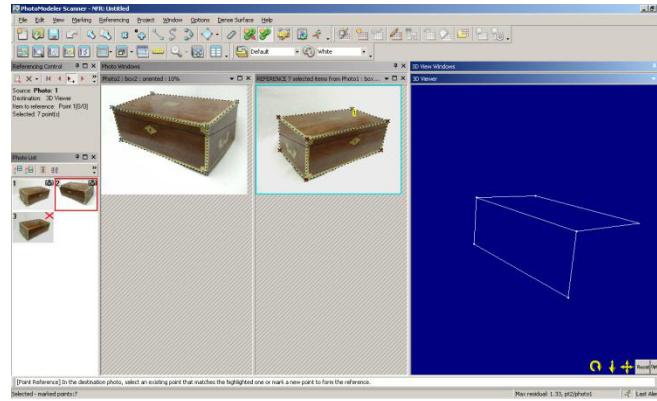


Ilustración 49. Ensayo baúl 1

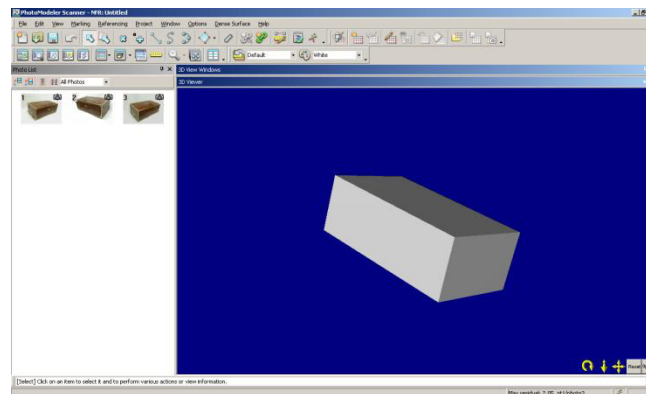


Ilustración 50. Ensayo baúl 2

Una vez realizado el ensayo, comenzamos con la segunda prueba, esta vez con más conocimientos de uso del programa, introduzco dos fotografías y sigo los pasos antes aprendidos, más adelante introduzco una a una las siguientes imágenes, en la pestaña “File”, seleccionamos “Add/Remove Photos...” para agregar o eliminar imágenes.

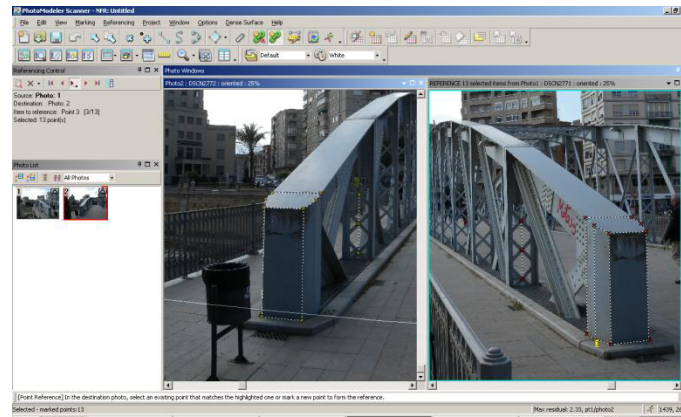


Ilustración 51. Modelado 1

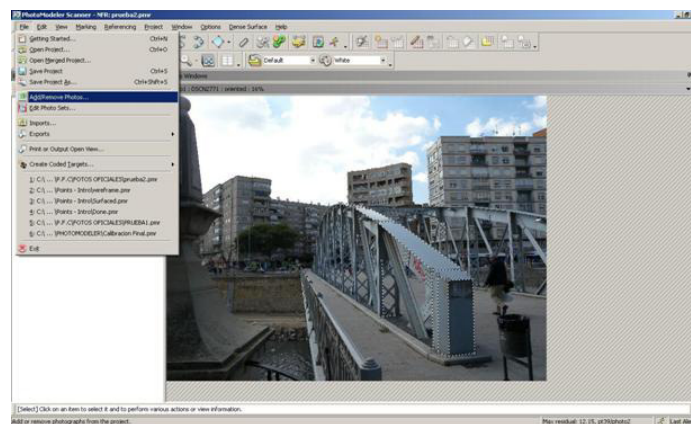


Ilustración 52. Añadir o quitar fotografías

Tras marcar un determinado número de puntos en una de las imágenes, nos disponemos entonces a relacionar éstos con los mismos puntos del resto de imágenes, con esto nos referimos a referenciar puntos, seleccionando el botón “Referencing Mode”, así, vinculamos la primera imagen marcada con la siguiente que queramos relacionar, con el objeto de orientar las imágenes correctamente, así hasta que los iconos con forma de cámara aparecen en la esquina superior derecha de nuestras imágenes, esto querrá decir que las imágenes que contengan este icono estarán correctamente orientadas.



Ilustración 53. Botón Referencing mode

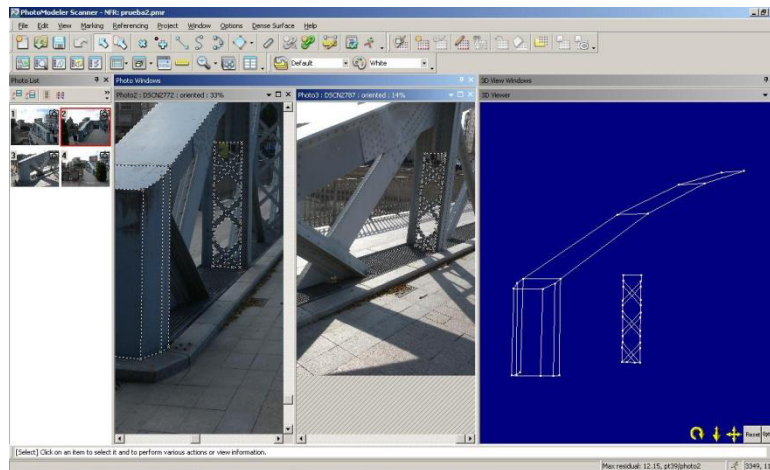


Ilustración 54. Modelado 2

Llegados a este punto, cabe mencionar que tanto para el simple marcado de puntos como para el posterior referenciado de los mismos nos basaremos en un criterio lógico a la hora de utilizar, o no, un punto en una imagen. Así, si un punto no es representado en ella con precisión o no es visible con suficiente claridad y resulta entonces ambigua su posición, optaremos por obviar el marcado de dicho punto, al menos en la imagen en que se dé alguno de estos supuestos, dejando su referenciación para aquellos fotogramas en que la garantía de precisión sea considerablemente alta.

De tal forma, siguiendo estas premisas, marcaremos puntos con las herramientas que el programa nos facilita haciendo uso además en todo

momento del zoom que nos sea oportuno, y, si la precisión de los puntos es suficiente, el ángulo entre tomas es el adecuado y hemos realizado la referenciación de puntos homólogos de manera correcta, Photomodeler conseguirá orientarnos relativamente las imágenes con tan sólo un mínimo de 6 puntos referenciados entre sí por toma. No obstante, las orientaciones relativas que el programa realiza con tan reducido grupo de puntos suelen ser algo precarias, más aún si dicho grupo de puntos no queda bien repartido por todo el ámbito de la imagen.

Podemos ir observando los pequeños avances en Photomodeler, ya que una vez llevada a cabo la orientación relativa de al menos un trío de imágenes, seremos teóricamente capaces de vez una representación tridimensional de los puntos y las líneas previamente definidas que los unen, esto nos ayudara a continuar con el trabajo más adelante en AutoCad.

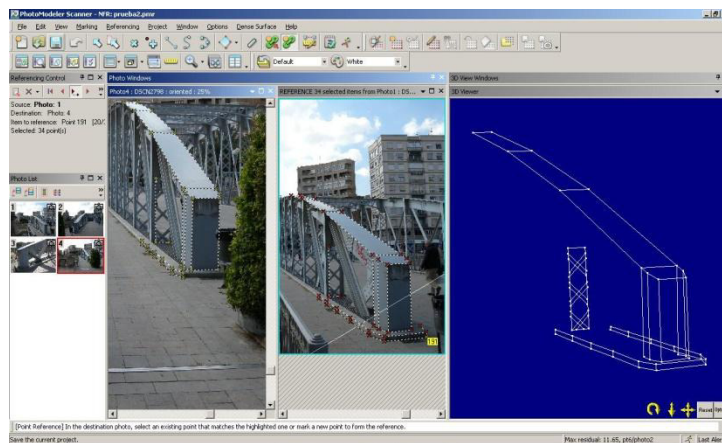


Ilustración 55. Modelado 3

Para el traspaso de nuestro modelo desde Photomodeler, hacia Autocad, debemos ejecutar los siguientes pasos.

1. Seleccionamos la pestaña “File”, y bajamos hasta “Exports”, dentro de esta última pestaña escogemos “Exports Model...”.

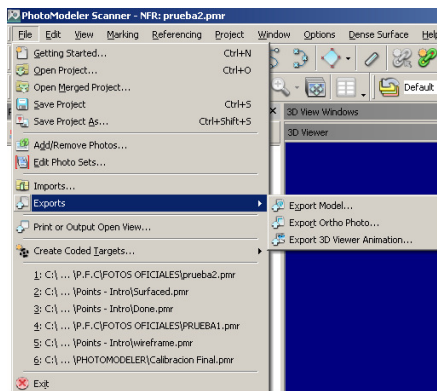


Ilustración 56. Exportar archivo

2. A continuación nos aparece la ventana “Export Options”, en ella seleccionamos el formato deseado y lo guardamos con el nombre elegido para más adelante poder abrirlo en AutoCad.

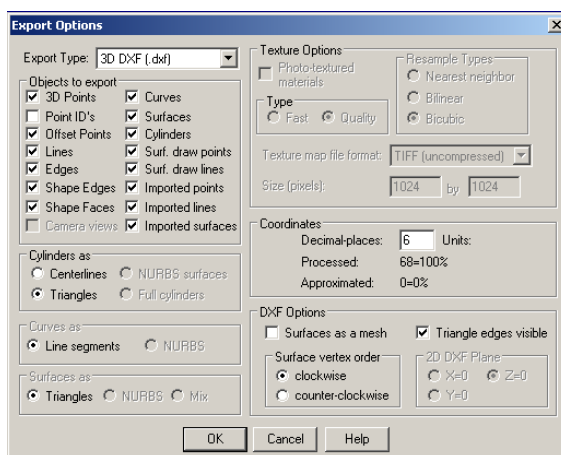


Ilustración 57. Cambio de formato en Photomodeler

6.6 VOLCADO DE PUNTOS.

Para el volcado de los datos obtenidos con la estación total, necesitamos de un software específico para la estación, por ello esta operación la realicé en el laboratorio de Topografía de la Universidad, donde disponen de estos programas y podemos trabajar con ellos.

A través del programa Leica Geo Office, volcamos las dos estaciones tomadas al ordenador, para ello seguimos unos sencillos pasos dentro de la ventana principal del programa, finalmente seleccionamos el formato más adecuado para almacenar los datos con el objetivo de seguir trabajando con ellos.

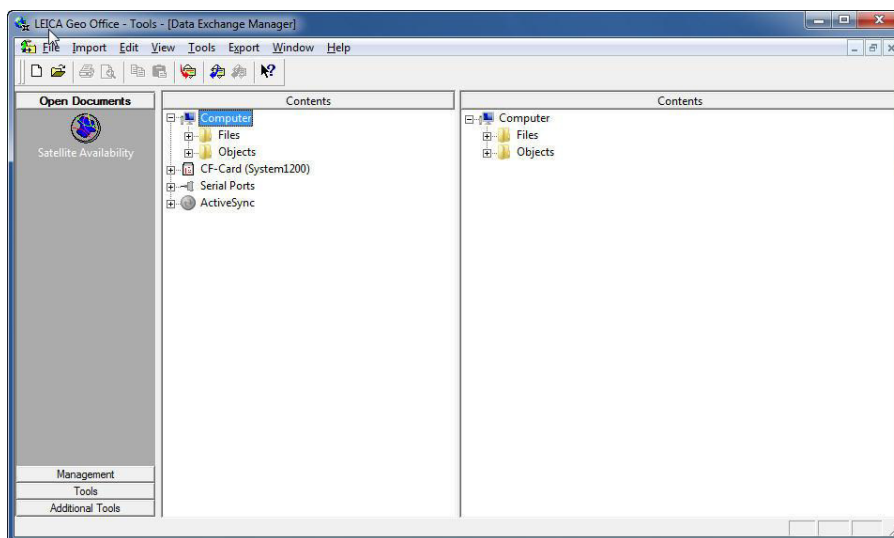


Ilustración 58. Ventana Leica Geo Office

Una vez terminado el proceso de volcado, debemos transformar los archivos guardados en archivos legibles para AutoCad, para ello los abrimos en Excel con el objetivo de retocar las cifras obtenidas, ya que nos aparecen con

medidas maximizadas, como en el caso de nuestras coordenadas XYZ, que las dividimos por mil XYZ/1000, para obtener valores correctos y trabajar con ellos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	EMI									
2										
3	PUNTO	H	V	D	X	Y	Z			
4	1	23126850	8828950	123423	942.770	1893.004	122.576	PUNTO 942.77,1893.004,122.576	texto 942.77,1893.004,122.576 0.2 0 1	
5	2	23186940	9521280	118635	943.222	1896.217	108.914	PUNTO 943.222,1896.217,108.914	texto 943.222,1896.217,108.914 0.2 0 2	
6	3	28038630	11329160	7141	993.343	1997.881	98.520	PUNTO 993.343,1997.881,98.520	texto 993.343,1997.881,98.520 0.2 0 3	
7	4	28048820	10251640	6999	993.332	1997.890	99.723	PUNTO 993.332,1997.89,99.723	texto 993.332,1997.89,99.723 0.2 0 4	
8	5	28438420	10251720	7137	993.082	1998.268	99.718	PUNTO 993.082,1998.268,99.718	texto 993.082,1998.268,99.718 0.2 0 5	
9	6	28436830	11262070	7405	992.958	1998.235	98.542	PUNTO 992.958,1998.235,98.542	texto 992.958,1998.235,98.542 0.2 0 6	
10	7	27917780	11230420	4698	995.651	1998.525	99.056	PUNTO 995.651,1998.525,99.056	texto 995.651,1998.525,99.056 0.2 0 7	
11	8	27917860	11230390	7359	993.174	1997.684	98.519	PUNTO 993.174,1997.684,98.519	texto 993.174,1997.684,98.519 0.2 0 8	
12	9	27935090	10173110	7197	993.181	1997.707	99.804	PUNTO 993.181,1997.707,99.804	texto 993.181,1997.707,99.804 0.2 0 9	
13	10	27871980	11261390	7554	993.004	1997.570	98.513	PUNTO 993.004,1997.57,98.513	texto 993.004,1997.57,98.513 0.2 0 10	
14	11	27887440	10104000	7407	992.998	1997.587	99.879	PUNTO 992.998,1997.587,99.879	texto 992.998,1997.587,99.879 0.2 0 11	
15	12	28370050	10105030	7560	992.688	1998.086	99.875	PUNTO 992.688,1998.086,99.875	texto 992.688,1998.086,99.875 0.2 0 12	
16	13	28430620	10172970	7371	992.854	1998.202	99.800	PUNTO 992.854,1998.202,99.800	texto 992.854,1998.202,99.800 0.2 0 13	
17	14	27358280	9304790	11139	989.867	1995.536	101.214	PUNTO 989.867,1995.536,101.214	texto 989.867,1995.536,101.214 0.2 0 14	
18	15	27686400	9304790	11306	989.496	1996.005	101.232	PUNTO 989.496,1996.005,101.232	texto 989.496,1996.005,101.232 0.2 0 15	
19	16	27688630	9310630	11248	989.547	1996.029	101.216	PUNTO 989.547,1996.029,101.216	texto 989.547,1996.029,101.216 0.2 0 16	
20	17	27092910	9019450	15064	986.640	1993.437	102.311	PUNTO 986.64,1993.437,102.311	texto 986.64,1993.437,102.311 0.2 0 17	
21	18	27339650	9022800	15156	986.311	1993.922	102.317	PUNTO 986.311,1993.922,102.317	texto 986.311,1993.922,102.317 0.2 0 18	
22	19	27350400	10848860	11196	989.850	1995.514	98.512	PUNTO 989.85,1995.514,98.512	texto 989.85,1995.514,98.512 0.2 0 19	
23	20	27089330	10637320	14973	986.632	1993.423	98.504	PUNTO 986.632,1993.423,98.504	texto 986.632,1993.423,98.504 0.2 0 20	
24	21	26932580	10507690	18802	989.391	1991.315	98.502	PUNTO 989.391,1991.315,98.502	texto 989.391,1991.315,98.502 0.2 0 21	
25	22	26829900	10419270	22612	980.177	1989.223	98.512	PUNTO 980.177,1989.223,98.512	texto 980.177,1989.223,98.512 0.2 0 22	
26	23	26757120	10357020	26445	976.948	1987.124	98.518	PUNTO 976.948,1987.124,98.518	texto 976.948,1987.124,98.518 0.2 0 23	
27	24	26704180	10310370	30157	973.826	1985.093	98.530	PUNTO 973.826,1985.093,98.530	texto 973.826,1985.093,98.530 0.2 0 24	
28	25	26704170	10310360	30276	973.723	1985.035	98.525	PUNTO 973.723,1985.035,98.525	texto 973.723,1985.035,98.525 0.2 0 25	
29	26	26627700	10248740	37918	967.304	1980.855	98.519	PUNTO 967.304,1980.855,98.519	texto 967.304,1980.855,98.519 0.2 0 26	
30	27	26601770	10226630	41801	964.037	1978.745	98.512	PUNTO 964.037,1978.745,98.512	texto 964.037,1978.745,98.512 0.2 0 27	
31	28	26579210	10206810	45543	960.896	1976.701	98.521	PUNTO 960.896,1976.701,98.521	texto 960.896,1976.701,98.521 0.2 0 28	
32	29	26560700	10190870	49372	957.679	1974.617	98.520	PUNTO 957.679,1974.617,98.520	texto 957.679,1974.617,98.520 0.2 0 29	
33	30	26542560	10174730	53445	954.262	1972.391	98.534	PUNTO 954.262,1972.391,98.534	texto 954.262,1972.391,98.534 0.2 0 30	
34	31	26545100	10014980	53177	954.463	1972.537	99.875	PUNTO 954.463,1972.537,99.875	texto 954.463,1972.537,99.875 0.2 0 31	
35	32	26561640	9849650	49469	957.585	1974.569	101.168	PUNTO 957.585,1974.569,101.168	texto 957.585,1974.569,101.168 0.2 0 32	
36	33	26580490	9686340	45628	960.845	1976.681	102.247	PUNTO 960.845,1976.681,102.247	texto 960.845,1976.681,102.247 0.2 0 33	
37	34	26601460	9521350	41845	964.079	1978.768	103.143	PUNTO 964.079,1978.768,103.143	texto 964.079,1978.768,103.143 0.2 0 34	
38	35	26626520	9363210	38152	967.245	1980.812	103.810	PUNTO 967.245,1980.812,103.810	texto 967.245,1980.812,103.810 0.2 0 35	
39	36	26661010	9221150	34252	970.574	1982.976	104.180	PUNTO 970.574,1982.976,104.180	texto 970.574,1982.976,104.180 0.2 0 36	
40	37	26756140	9000860	26733	976.949	1987.120	104.179	PUNTO 976.949,1987.12,104.179	texto 976.949,1987.12,104.179 0.2 0 37	
41	38	26828820	8939930	22877	980.181	1989.221	103.792	PUNTO 980.181,1989.221,103.792	texto 980.181,1989.221,103.792 0.2 0 38	
42	39	26930490	8932710	19053	983.356	1991.289	103.179	PUNTO 983.356,1991.289,103.179	texto 983.356,1991.289,103.179 0.2 0 39	
43	40	27020820	8932780	18693	983.550	1991.686	103.119	PUNTO 983.55,1991.686,103.119	texto 983.55,1991.686,103.119 0.2 0 40	
44	41	26930150	8932730	19060	983.350	1991.285	103.180	PUNTO 983.35,1991.285,103.180	texto 983.35,1991.285,103.180 0.2 0 41	
45	42	27091070	9028120	15062	986.640	1993.432	102.291	PUNTO 986.64,1993.432,102.291	texto 986.64,1993.432,102.291 0.2 0 42	
46	43	27354430	9319930	11145	989.862	1995.526	101.188	PUNTO 989.862,1995.526,101.188	texto 989.862,1995.526,101.188 0.2 0 43	

Ilustración 59. Hoja de Excel 1

Para operar con nuestras coordenadas en AutoCad, traducimos nuestros puntos a una nomenclatura entendible para el programa, en la cual dividimos nuestras coordenadas por comas, y entrecorrimos aquellas palabras que necesitamos que aparezcan en ésta.

El siguiente paso será copiar en el accesorio “Bloc de notas”, los puntos anteriormente traducidos, ya que al realizar el “script” en AutoCad será de fácil lectura este formato elegido.

Sin título - Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

PUNTO	942.77,1893.004,122.576	texto	942.77,1893.004,122.576	0.2	0	1
PUNTO	943.222,1896.217,108.914	texto	943.222,1896.217,108.914	0.2	0	2
PUNTO	993.343,1997.881,98.52	texto	993.343,1997.881,98.52	0.2	0	3
PUNTO	993.332,1997.89,98.723	texto	993.332,1997.89,98.723	0.2	0	4
PUNTO	993.082,1998.268,99.718	texto	993.082,1998.268,99.718	0.2	0	5
PUNTO	992.958,1998.235,98.542	texto	992.958,1998.235,98.542	0.2	0	6
PUNTO	995.651,1998.525,99.056	texto	995.651,1998.525,99.056	0.2	0	7
PUNTO	993.174,1997.684,98.519	texto	993.174,1997.684,98.519	0.2	0	8
PUNTO	993.181,1997.707,99.804	texto	993.181,1997.707,99.804	0.2	0	9
PUNTO	993.004,1997.57,98.513	texto	993.004,1997.57,98.513	0.2	0	10
PUNTO	992.998,1997.587,99.879	texto	992.998,1997.587,99.879	0.2	0	11
PUNTO	992.688,1998.086,99.875	texto	992.688,1998.086,99.875	0.2	0	12
PUNTO	992.854,1998.202,99.8	texto	992.854,1998.202,99.8	0.2	0	13
PUNTO	989.867,1995.536,101.214	texto	989.867,1995.536,101.214	0.2	0	14
PUNTO	989.496,1996.005,101.232	texto	989.496,1996.005,101.232	0.2	0	15
PUNTO	989.547,1996.029,101.216	texto	989.547,1996.029,101.216	0.2	0	16
PUNTO	986.64,1993.437,102.311	texto	986.64,1993.437,102.311	0.2	0	17
PUNTO	986.311,1993.922,102.317	texto	986.311,1993.922,102.317	0.2	0	18
PUNTO	989.85,1995.514,98.512	texto	989.85,1995.514,98.512	0.2	0	19
PUNTO	986.632,1993.423,98.504	texto	986.632,1993.423,98.504	0.2	0	20
PUNTO	983.391,1991.315,98.502	texto	983.391,1991.315,98.502	0.2	0	21
PUNTO	980.177,1989.223,98.512	texto	980.177,1989.223,98.512	0.2	0	22
PUNTO	976.948,1987.124,98.518	texto	976.948,1987.124,98.518	0.2	0	23
PUNTO	973.826,1985.093,98.53	texto	973.826,1985.093,98.53	0.2	0	24
PUNTO	973.723,1985.035,98.525	texto	973.723,1985.035,98.525	0.2	0	25
PUNTO	967.304,1980.855,98.519	texto	967.304,1980.855,98.519	0.2	0	26
PUNTO	964.037,1978.745,98.512	texto	964.037,1978.745,98.512	0.2	0	27
PUNTO	960.896,1976.701,98.521	texto	960.896,1976.701,98.521	0.2	0	28
PUNTO	957.679,1974.617,98.52	texto	957.679,1974.617,98.52	0.2	0	29
PUNTO	954.262,1972.391,98.534	texto	954.262,1972.391,98.534	0.2	0	30
PUNTO	954.463,1972.537,99.875	texto	954.463,1972.537,99.875	0.2	0	31
PUNTO	957.585,1974.569,101.168	texto	957.585,1974.569,101.168	0.2	0	32
PUNTO	960.845,1976.681,102.247	texto	960.845,1976.681,102.247	0.2	0	33
PUNTO	964.079,1978.768,103.143	texto	964.079,1978.768,103.143	0.2	0	34
PUNTO	967.245,1980.812,103.81	texto	967.245,1980.812,103.81	0.2	0	35
PUNTO	970.574,1982.976,104.18	texto	970.574,1982.976,104.18	0.2	0	36
PUNTO	976.949,1987.12,104.179	texto	976.949,1987.12,104.179	0.2	0	37

Ilustración 60. Coordenadas en Bloc de notas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	EMI2									
2										
3	PUNTOS	H	V	D	X	Y	Z			
4	44	1677970	8088220	76636	1.019.073	2.070.678	122.6	PUNTO 1019.073,2070.678,122.6	texto 1019.073,2070.678,122.6	0.2 0 44
5	45	26172360	10367280	24284	980.008	1986.286	98.6	PUNTO 980.008,1986.286,98.6	texto 980.008,1986.286,98.6	0.2 0 45
6	46	25188110	1029020	8500	993.895	1994.246	98.632	PUNTO 993.895,1994.246,98.632	texto 993.895,1994.246,98.632	0.2 0 46
7	47	25512970	11043290	8350	993.724	1994.662	98.631	PUNTO 993.724,1994.662,98.631	texto 993.724,1994.662,98.631	0.2 0 47
8	48	25505010	10130360	8245	993.728	1994.652	99.831	PUNTO 993.728,1994.652,99.831	texto 993.728,1994.652,99.831	0.2 0 48
9	49	25185440	10131160	8390	993.899	1994.244	99.827	PUNTO 993.899,1994.244,99.827	texto 993.899,1994.244,99.827	0.2 0 49
10	50	25195900	10064530	8601	993.735	1994.109	99.913	PUNTO 993.735,1994.109,99.913	texto 993.735,1994.109,99.913	0.2 0 50
11	51	25613790	10063090	8446	993.481	1994.631	99.916	PUNTO 993.481,1994.631,99.916	texto 993.481,1994.631,99.916	0.2 0 51
12	52	25659980	10007090	8642	993.29	1994.554	99.99	PUNTO 993.29,1994.554,99.99	texto 993.29,1994.554,99.99	0.2 0 52
13	53	25249970	10009510	8824	993.52	1994.01	99.987	PUNTO 993.52,1994.01,99.987	texto 993.52,1994.01,99.987	0.2 0 53
14	54	26204120	9331960	12364	989.826	1993.095	101.295	PUNTO 989.826,1993.095,101.295	texto 989.826,1993.095,101.295	0.2 0 54
15	55	26511760	9051420	16279	986.258	1991.614	102.417	PUNTO 986.258,1991.614,102.417	texto 986.258,1991.614,102.417	0.2 0 55
16	56	26701330	8959730	20168	982.713	1990.144	103.281	PUNTO 982.713,1990.144,103.281	texto 982.713,1990.144,103.281	0.2 0 56
17	57	26829940	8957610	23990	979.206	1988.695	103.911	PUNTO 979.206,1988.695,103.911	texto 979.206,1988.695,103.911	0.2 0 57
18	58	26922260	9017190	27931	975.564	1987.171	104.295	PUNTO 975.564,1987.171,104.295	texto 975.564,1987.171,104.295	0.2 0 58
19	59	27042900	9232460	35405	968.576	1984.255	104.258	PUNTO 968.576,1984.255,104.258	texto 968.576,1984.255,104.258	0.2 0 59
20	60	27085450	9369050	39181	965.026	1982.767	103.877	PUNTO 965.026,1982.767,103.877	texto 965.026,1982.767,103.877	0.2 0 60
21	61	27086240	9369940	39224	964.986	1982.753	103.876	PUNTO 964.986,1982.753,103.876	texto 964.986,1982.753,103.876	0.2 0 61
22	62	27122320	9516560	42921	961.501	1981.307	103.256	PUNTO 961.501,1981.307,103.256	texto 961.501,1981.307,103.256	0.2 0 62
23	63	27149900	9674760	46705	957.953	1979.809	102.385	PUNTO 957.953,1979.809,102.385	texto 957.953,1979.809,102.385	0.2 0 63
24	64	27174510	9834190	50481	954.425	1978.331	101.315	PUNTO 954.425,1978.331,101.315	texto 954.425,1978.331,101.315	0.2 0 64
25	65	27191770	10004470	54287	950.91	1976.822	99.962	PUNTO 950.91,1976.822,99.962	texto 950.91,1976.822,99.962	0.2 0 65
26	66	27196330	10161080	54349	950.853	1976.838	98.621	PUNTO 950.853,1976.838,98.621	texto 950.853,1976.838,98.621	0.2 0 66
27	67	27176010	10173410	50511	954.394	1978.329	98.624	PUNTO 954.394,1978.329,98.624	texto 954.394,1978.329,98.624	0.2 0 67
28	68	27150240	10188970	46677	957.941	1979.805	98.615	PUNTO 957.941,1979.805,98.615	texto 957.941,1979.805,98.615	0.2 0 68
29	69	27121370	10206550	42909	961.424	1981.262	98.608	PUNTO 961.424,1981.262,98.608	texto 961.424,1981.262,98.608	0.2 0 69
30	70	27086310	10226230	39073	964.971	1982.746	98.612	PUNTO 964.971,1982.746,98.612	texto 964.971,1982.746,98.612	0.2 0 70
31	71	27076870	10212470	40656	963.575	1981.991	98.643	PUNTO 963.575,1981.991,98.643	texto 963.575,1981.991,98.643	0.2 0 71
32	72	27085540	10226960	39061	964.984	1982.747	98.608	PUNTO 964.984,1982.747,98.608	texto 964.984,1982.747,98.608	0.2 0 72
33	73	27042280	10248270	35174	968.579	1984.252	98.623	PUNTO 968.579,1984.252,98.623	texto 968.579,1984.252,98.623	0.2 0 73
34	74	26987980	10279210	31413	972.065	1985.7	98.623	PUNTO 972.065,1985.7,98.623	texto 972.065,1985.7,98.623	0.2 0 74
35	75	26920240	10318210	27595	975.602	1987.181	98.621	PUNTO 975.602,1987.181,98.621	texto 975.602,1987.181,98.621	0.2 0 75
36	76	26918680	10318330	27486	975.701	1987.226	98.626	PUNTO 975.701,1987.226,98.626	texto 975.701,1987.226,98.626	0.2 0 76
37	77	26828930	10371310	23763	979.16	1988.666	98.615	PUNTO 979.16,1988.666,98.615	texto 979.16,1988.666,98.615	0.2 0 77
38	78	26701770	10443500	19966	982.697	1990.137	98.61	PUNTO 982.697,1990.137,98.61	texto 982.697,1990.137,98.61	0.2 0 78
39	79	26515960	10546660	16148	986.261	1991.628	98.615	PUNTO 986.261,1991.628,98.615	texto 986.261,1991.628,98.615	0.2 0 79
40	80	26207320	10714920	12346	989.845	1993.116	98.616	PUNTO 989.845,1993.116,98.616	texto 989.845,1993.116,98.616	0.2 0 80
41	81	25664790	10998930	8763	993.275	1994.551	98.631	PUNTO 993.275,1994.551,98.631	texto 993.275,1994.551,98.631	0.2 0 81
42	82	27411750	10013980	61358	943.643	1975.736	99.866	PUNTO 943.643,1975.736,99.866	texto 943.643,1975.736,99.866	0.2 0 82

Ilustración 61. Hoja de Excel 2

6.7 PROCESADO DE PUNTOS EN AUTOCAD.

Llegamos al último paso de nuestro trabajo, en él veremos el avance real de nuestro proyecto, uniendo todos los pasos anteriores en un mismo programa, que va a dar forma a nuestro objetivo final, el modelado en 3D del Puente Nuevo de Murcia.

Comenzamos abriendo nuestro archivo de Photomodeler en AutoCad, en otro archivo distinto abrimos los puntos de la estación 1, a la que llame “EMI1”, y hacemos lo mismo con la estación “EMI2”.

Vamos uniendo puntos en cada archivo y vamos observando, aunque muy esquelética, la estructura del puente, comencé trabajando en el laboratorio de Topografía, aprovechando el reciente volcado de datos de las estaciones.

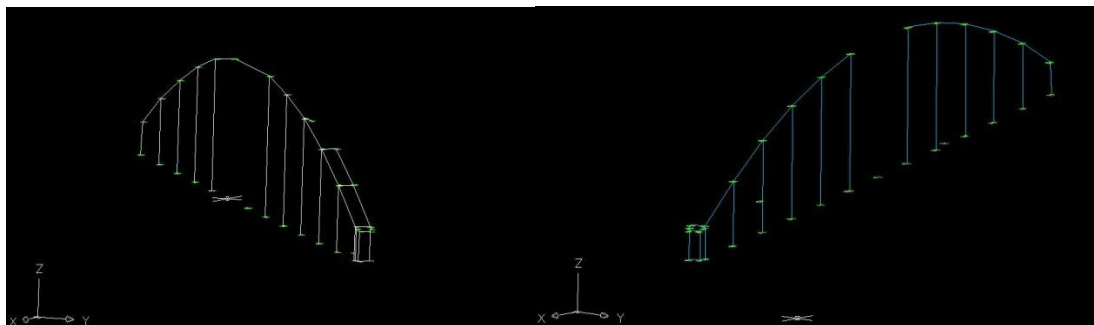


Ilustración 62. Estación 1 vs Estación 2 (AutoCad)

Continuo trabajando en AutoCad, ya con mi propio ordenador, para darle forma en base a las medidas obtenidas con las estaciones y gracias al pequeño modelado en 3D de Photomodeler. Vamos dándole un aspecto tridimensional, a la vez que vamos incorporando elementos como las cruces de San Andres, y una vez concluido parcialmente el primer arco, lo duplicamos para crear lo que será nuestro puente.

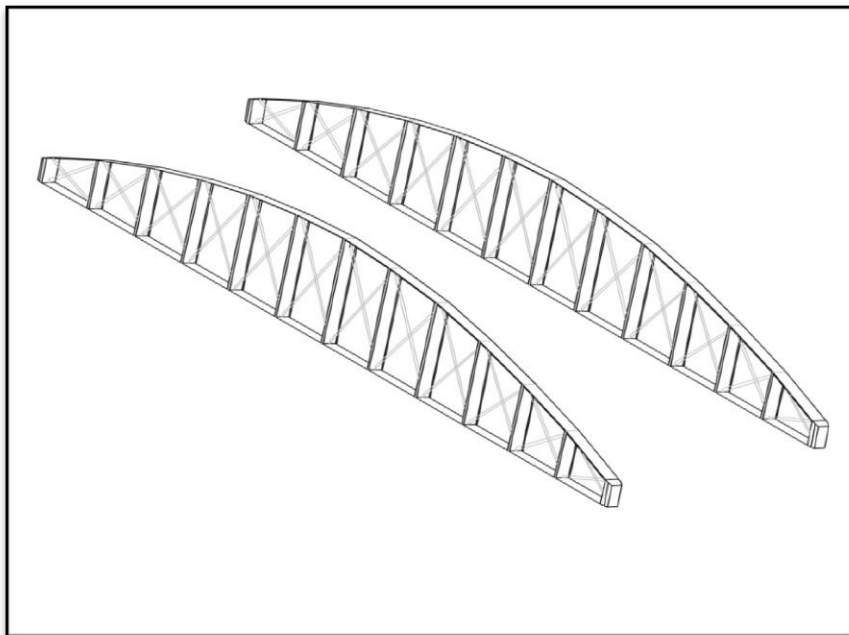


Ilustración 63. Arco duplicado en paralelo

El siguiente paso que damos, es el de dotar a nuestros arcos de una base en la cual apoyarse, una losa que le dé una sensación de puente más real si cabe.

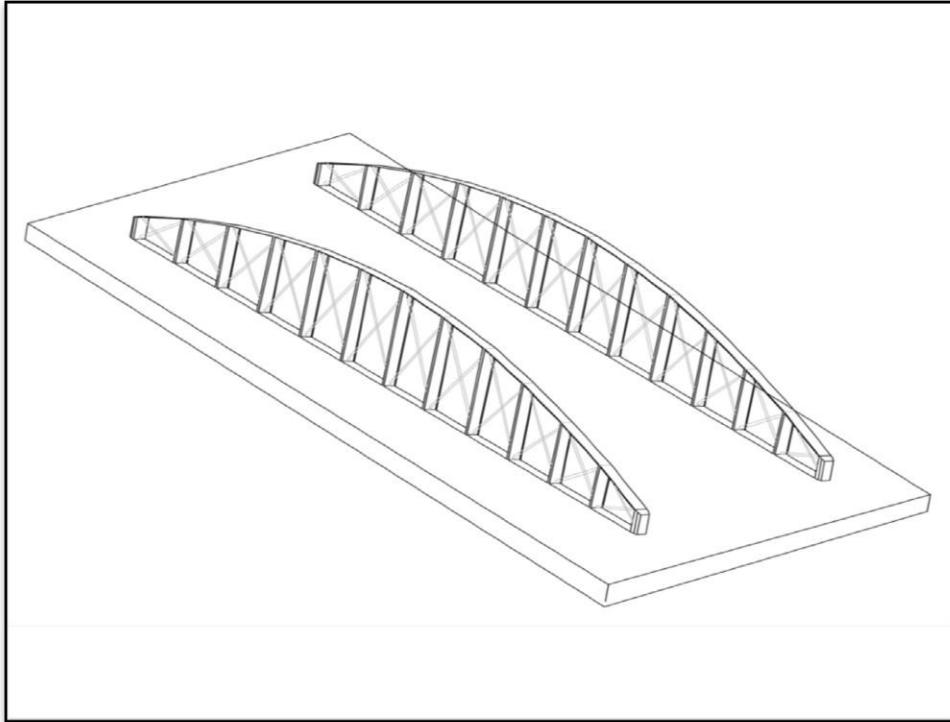


Ilustración 64. Arcos con losa

Por ultimo en la creación de nuestro puente, desde el punto de vista estructural, creamos los travesaños que unen los dos arcos. De esta forma quedara finalizado el puente, a falta de dotarlo de color para que obtenga una imagen más realista y se observe definitivamente el resultado obtenido, que más adelante podremos observar.

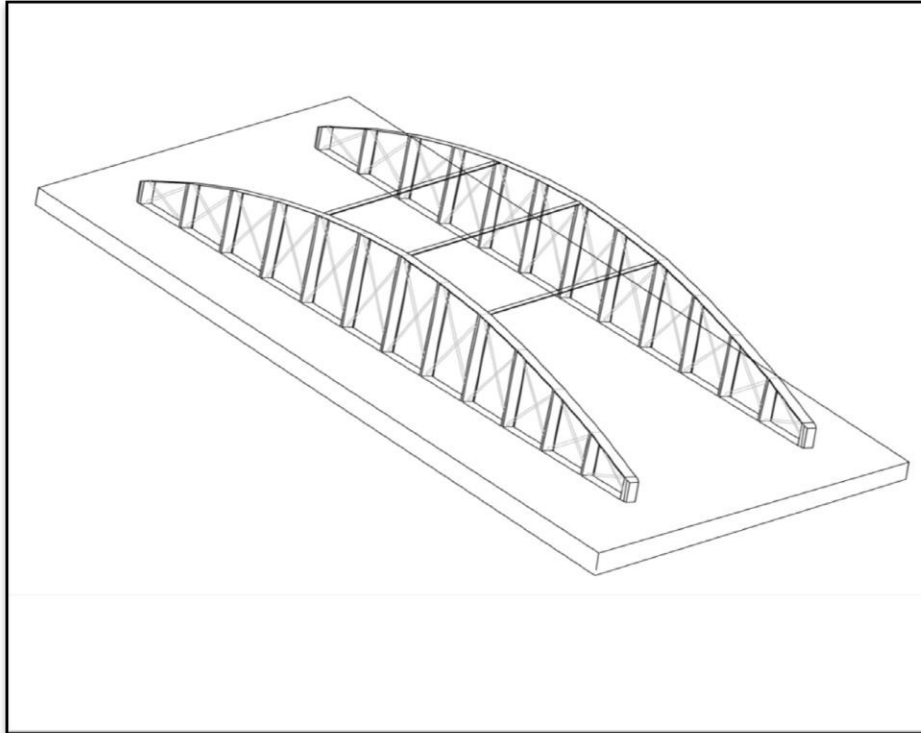


Ilustración 65. Estructura final

CAPITULO 7: Resultado final y Conclusión.

7.1 RESULTADO FINAL.

A continuación podemos observar el resultado final de nuestro modelado en 3D del Puente Nuevo de Murcia, ya con textura, lo que facilita su visión .

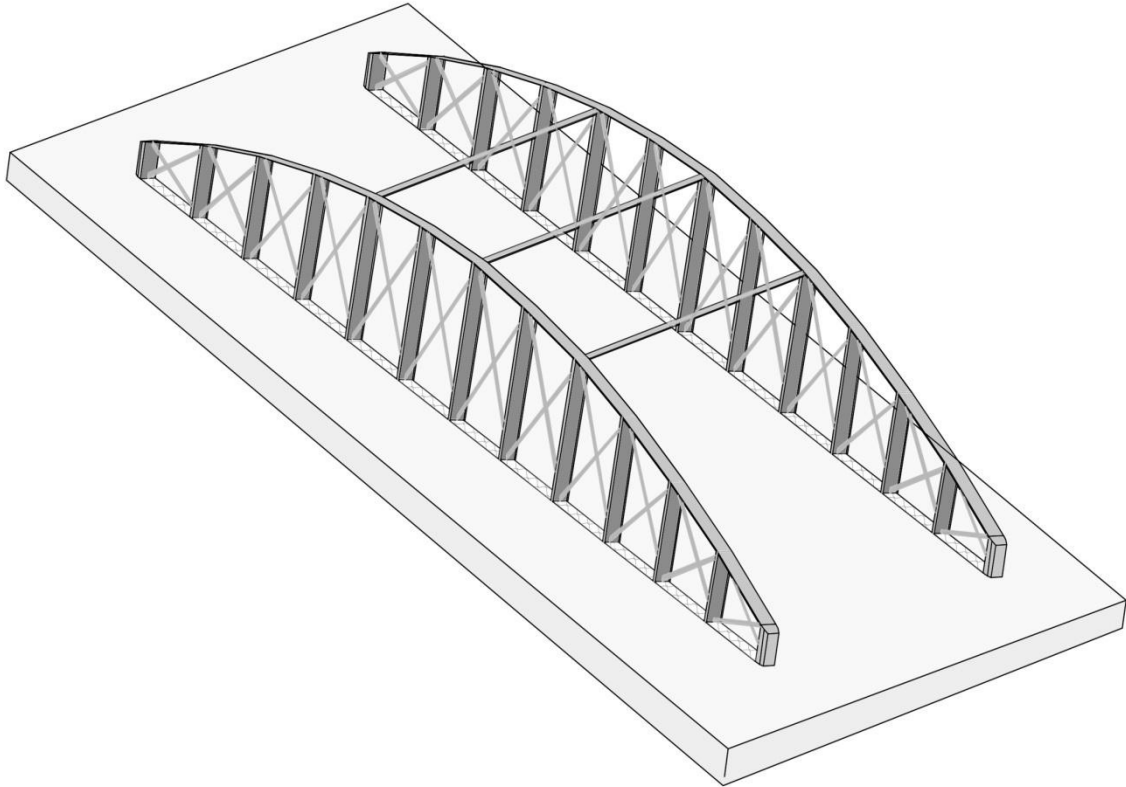


Ilustración 66. Resultado final 3D del Puente Nuevo

7.2 CONCLUSIÓN.

Finalizado nuestro trabajo, podemos decir que, tanto la topografía convencional, como los nuevos softwares que van apareciendo, son totalmente útiles, cada uno en un grado de utilización y dependiendo del proyecto que queramos llevar a cabo.

Desde el punto de vista personal, este proyecto me ha sido de gran ayuda para aprender la utilización en cierta medida de Photomodeler, así como mejorar el manejo del AutoCad, y otras herramientas utilizadas. También para conocer el sistema de trabajo dentro de la topografía de primera mano, y experimentar con trabajo a pie de calle con una estación total o la toma de fotografías de nuestro puente.

En definitiva, un proyecto muy útil, y bastante agradecido, ya que vamos observando los resultados al instante, lo cual nos permite realizar las correcciones pertinentes, y avanzar con relativa comodidad.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

<https://www.google.es>

<http://es.wikipedia.org>

<http://www.descubriendomurcia.com>

http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_Murcia

[http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_Nuevo_\(Murcia\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_Nuevo_(Murcia))

<http://www.descubriendomurcia.com/se-construye-el-puente-nuevo-o-puente-de-hierro-sobre-el-segura>

<https://www.yumpu.com/es/document/view/1424599/puente-de-hierro>

Temarios de topografía Universidad Politécnica de Cartagena

<http://www.worldphotogrammetry.com>

<http://www.secft.org/>

Pfc: modelado 3d estación ferrocarril de Cartagena

Pfc: levantamiento fotogramétrico y modelización tridimensional del santuario de Nuestra Señora de La Fuensanta

<http://www.leica.com>

<http://www.nikon.com>

<http://www.autodesk.com>

